Fondel

4° A. civ.

115 nr

(4

Rondelet

E. 63

263.

Theoretisch-praktische Anleitung

zur

Kunst zu bauen

von

J. Rondelet,

Architekt, Ritter der Ehrenlegion, Mitglied des Instituts von Frankreich ꝛc.

Vierter Band.

BAYERISCHE STAATS-

K. REKTORAT D. POLYT. SCHULE AUGSBURG

BAYERISCHE
STAATS-
BIBLIOTHEK
MUENCHEN

Theoretisch-praktische Anleitung

zur

Kunst zu bauen

von

J. Rondelet,

Architekt, Ritter der Ehrenlegion, Mitglied des Instituts von Frankreich ꝛc.

In fünf Bänden.

Mit den **210** Kupfern der Pariser Original-Ausgabe.

Vierter Band.

Nach der sechsten Auflage aus dem Französischen übersetzt.

Mit sechs und dreißig Kupfertafeln.

Leipzig und Darmstadt,
Druck und Verlag von Carl Wilhelm Leske.

Wien,
in der Karl Gerold'schen Buchhandlung.

1835.

K. REKTORAT D. POLYT. SCHULE AUGSBURG

BAYERISCHE
STAATS-
BIBLIOTHEK
MUENCHEN

BAYERISCHE
STAATS-
BIBLIOTHEK
MÜNCHEN

Neuntes Buch.

Theorie der Constructionen.

In den vorhergegangenen Büchern haben wir die verschiedenen Arten von Constructionen in Bezug auf das Materielle der Kunst besonders betrachtet; jetzt wollen wir uns mit der Wissenschaft beschäftigen, welche die Bestimmungen der Formen und Maße an den verschiedenen Theilen der Bauwerke in Bezug auf ihre Dauerhaftigkeit zum Gegenstand hat. Diese Wissenschaft ist die Theorie der Constructionen. —

Die meisten Schriftsteller, welche von der Theorie und Praxis gehandelt haben, betrachteten sie unabhängig von einander. Die Einen, um die Theorie geltend zu machen, haben sich gefallen, die Praxis als eine blinde Fertigkeit darzustellen, in welcher die Gegenstände nur nachahmungsweise, ohne Beurtheilung und Grundsätze, ausgeführt werden. Die Andern dagegen finden in der Theorie nur abstrakte Begriffe, deren Anwendung, statt von großem Nutzen zu seyn, oft für die, welche sie zur Führerin nehmen, eine Quelle unvermeidlicher Irrthümer wird. Aber diese beiden Extreme giebt es nicht; denn unter den am wenigsten unterrichteten Praktikern findet sich keiner so sehr beschränkt, daß er sklavisch nachahmen müßte, — um so mehr, da man in der Baukunst fast nie — sowohl in der Form als in der Anordnung und Beschaffenheit der Materialien — auf völlig gleiche Fälle stößt.

Was die Irrthümer betrifft, die aus einem blinden Vertrauen auf die Theorie entspringen können; so bemerken wir nur, daß die meisten Gelehrten, welche sich mit Aufgaben aus der Baukunst beschäftigten, zur Verallgemeinerung ihrer Formeln von der Vorschrift der Kunst

und den Eigenschaften der Stoffe abstrahirt haben. Sie glaubten, dieselben durch mehr oder minder wahrscheinliche Hypothesen ersetzen zu dürfen. Aber es ist klar, daß das Resultat — ungeachtet der mathematischen Genauigkeit bei ihrem Verfahren — nur bedingungsweise richtig ist, d. h. sich der Wahrheit nur mehr oder weniger nähert, je mehr oder minder ihre Hypothese begründet ist. Nur, indem man — statt der Hypothese — Thatsachen zuläßt und Rücksicht auf die Umstände nimmt, welche das Wesen der Frage genau bestimmen, kann man auf zuverlässige Resultate rechnen.

Man muß demnach in der Baukunst die Resultate der Theorie als bedingte Auflösungen ansehen, die immer den materiellen Umständen bei den Constructionen untergeordnet sind. —

Die richtigste Vorstellung, welche man sich von der Theorie machen kann, leitet sich aus der Erklärung des Wortes selbst her, weßhalb wir den ihm beizulegenden Begriff aus seiner Abstammung wollen kennen lehren.

Das Wort Theorie stammt aus dem griechischen *Θεωρία* (das Untersuchen), welches Vitruv durch ratiocinatio (Vernunftschluß) in's Lateinische übersetzte, was sich weit eher auf die Kunst als auf die Wissenschaft anwenden läßt. Dieses Wort kann im Französischen durch raisonnement (Schlüsse ziehen) übersetzt werden. Indessen könnte man eher sagen: Räsonnement sey das Mittel, dessen sich die Theorie zur Erlangung des Resultats bei ihren Beobachtungen bedient; denn die eigentliche Bezeichnung von *Θεωρία* ist Betrachtung und gründliches Nachdenken.

Nach dieser Erklärung muß also Beobachtung oder Untersuchung der wichtigste Gegenstand der Theorie seyn. In der That, um über einen Gegenstand richtig urtheilen und gehörig entscheiden zu können, muß man ihn vor Allem genau kennen. Aber diese Kenntniß hängt von vielen andern Kenntnissen ab, so daß es schwer ist, sie zu vereinigen. —

Indem ich jede Abschweifung über diesen Gegenstand, da sie keinen besondern Nutzen hätte, unterlasse, werde ich in dieser Abhandlung bloß das von der Theorie betrachten, was auf die Construction Bezug hat. Der Gegenstand dieses wesentlichen Theiles der Baukunst ist: das Zusammenordnen der Theile des Gebäudes in Bezug auf Festigkeit; das Prüfen der Mittel zur Ausführung und Oekonomie, wobei

man Rücksicht auf die Materialien nimmt; das Aufsuchen der natürlichen Eigenschaften dieser Materialien und dessen, was sie je nach der Art ihrer Anwendung werden. —

Wenn Arithmetik, Geometrie und Mechanik zur gründlichen Analyse der verschiedenen Aufgaben, die dem Architekten vorkommen, unerläßlich sind, so machen sie doch die Theorie nicht allein aus. Aber durch die Genauigkeit, deren sie fähig sind, dienen sie dem Räsonnement zur Stütze, um zu den Widerständen oder Kräften zu gelangen, welche aus der Zusammensetzung der Theile eines Gebäudes entstehen.

Sie können mit Hülfe von genauen Erfahrungen, und indem man sie zur Grundlage bei allen Kalküls nimmt, zu den Fortschritten der Baukunst viel beitragen, indem sie dieser die Mittel erleichtern, zum Voraus das Resultat von bestimmten verwickelten Vornehmungen zu beurtheilen. Aber, um diese Anwendungen nützlich zu machen, bedarf man außerdem die Kenntniß der Verfahrungsweise bei den Künsten und der sinnreichen Mittel, welche in außerordentlichen Fällen angewendet werden. —

In der Baukunst giebt es viele Dinge, die man nur durch die Erfahrung kennen lernt. Die gehörig angewendeten mathematischen Lehrsätze lehren allerdings die Stabilität, den Druck und die Widerstandsfähigkeit der Theile eines Gebäudes je nach ihrem Gewicht und ihrer Form kennen. Aber man kann durch sie allein nicht die Größe der Stabilität, des Drucks und der Widerstandsfähigkeit, wodurch die Festigkeit des Ganzen dieser Theile begründet wird, bestimmen, weil noch Rücksicht auf die Lage dieser Theile, auf die Art ihrer Construction und auf den Boden, auf welchem sie errichtet sind, genommen werden muß. Denn sähe man von diesen Umständen ab, so könnte man darthun, daß eine unbestimmt hohe freistehende und senkrechte Mauer errichtet werden könnte, was auch die Höhe in Bezug auf die Breite ihrer Grundfläche wäre; d. h. sie könnte eine Höhe haben, die z. B. **100** mal so groß als die Breite der Grundfläche wäre. Die Erfahrung lehrt jedoch, daß die größte Höhe einer solchen Mauer nur bis zum **12** oder **14** fachen der Dicke gehen darf, und daß freistehende Mauern mit einer größeren Höhe zusammenstürzen bei der geringsten ungleichen Senkung, die entweder von ihrer Bauart oder von dem Boden, worauf sie stehen, herrührt. —

Damit der Leser im Stande ist, der Auflösung verschiedener Aufgaben bei den Constructionen mit Nutzen zu folgen, haben wir es

für nothwendig gehalten, die Lehrsätze der Mechanik, auf welche sich die Resultate der Theorie gründen, in einer kurzen Darstellung vorausgehen zu lassen. Hat man sich diese Kenntniß einmal zu eigen gemacht, so lassen sich die Aufgaben aus der Baukunst mit der größten Leichtigkeit auflösen, und wir gelangen durch einfache Verfahrungsarten zu den Regeln für die Bestimmung der Stabilität, des Drucks und der Widerstandsfähigkeit der Mauern und Widerlager. Wir finden ferner die Auflösung wichtiger Aufgaben in Bezug auf den Erddruck und die Widerstandsfähigkeit der Bekleidungsmauern. Endlich werden wir zu höheren Betrachtungen der Theorie der Gewölbe geleitet.

Erste Abtheilung.

Lehrsätze der Mechanik.

Erstes Kapitel.

Von dem Parallelogramm der Kräfte.

Die Mechanik ist der Theil der Mathematik, welcher die Gesetze für das Gleichgewicht oder die Bewegung der Körper zum Gegenstand hat, wobei entweder die auf sie wirkenden Kräfte, oder ihre Lage, oder endlich die Schwerkraft in Betracht kommen. Wir haben schon von dieser allgemeinen Eigenschaft (der Schwerkraft) der Körper im **2.** Kapitel des **2.** Buchs im **2.** Band auf Seite **15** u. d. f. gesprochen. Wir haben dort angeführt, daß ein fester Körper, welcher an einem zum Tragen desselben hinreichend starken Faden aufgehängt wird, diesen in eine vertikale oder auf den Horizont senkrechte Richtung bringt.

Wir fügen hinzu, daß die Richtung dieses Fadens durch einen andern, welcher senkrecht oder schief auf jene an dem Körper wirkt, abgelenkt wird. Man sehe die Figuren **1**, **2** und **3**, Tafel **CLXVI.**

Wenn ein an einem Faden aufgehängter Körper durch eine horizontale Kraft **DE** (Figur **1**) aus der vertikalen Richtung gebracht wird, so kann diese Kraft die Wirkung der Schwere des Körpers weder vermehren noch vermindern. Aber es ist leicht zu begreifen, daß der erste Faden, indem er die Richtung **AD** annimmt, außer dem Gewicht des Körpers noch die Wirkung der Kraft auszuhalten hat, welche ihn von der vertikalen Richtung **AB** entfernt.

Wenn man die Richtung der horizontalen Kraft verlängert bis zu der Vertikalen, in welcher sich der erste Faden befinden würde, wenn er nicht von dem zweiten abgelenkt worden wäre, so erhält man

ein Dreieck **ADB**, dessen Seiten das Verhältniß zwischen dem Gewicht und der Wirkung der beiden Fäden im Falle des Gleichgewichts ausdrücken. Wenn demnach **AB** die Größe des Gewichts bezeichnet, so drückt **AD** die Wirkung des in **A** befestigten Fadens und **BD** die der horizontalen Kraft aus, welche den Körper von der Vertikalen **AB** entfernt.

Man kann auch diese verschiedenen Wirkungen finden, indem man auf die Vertikale **DH** irgend eine Größe **DF** trägt, welche das Gewicht des Körpers bezeichnet. Zieht man ferner durch den Punkt **F** die Linien **FI** und **FG** parallel mit den Richtungen der Fäden, so sind die Wirkungen dieser durch die Linien **ID** und **GD** bezeichnet, so daß die drei Seiten des Dreiecks **DGF**, welches dem Dreieck **ADB** ähnlich ist, das Verhältniß des Gewichtes zu den beiden an den Fäden angebrachten Kräften ausdrückt.

Das Gewicht zu **30** Pfd. angenommen, so findet man, wenn man nach einem Maßstab **30** gleiche Theile von **D** nach **F** trägt, **DG** zu **21** Pfd. als die Wirkung der horizontalen Kraft **DE**, und **DI** zu **35** als die Wirkung in schiefer Richtung.

Wenn das Gewicht — statt **30** Pfd. — **100** Pfd. wäre, so fände man die Größe der Kräfte **DG** und **ID** durch Proportionen. Die erste Proportion ist **30 : 21 = 100 : x**, worin **x** die Wirkung **DG** bezeichnet, und woraus ihre Größe folgt, nämlich

$$x = \frac{21 \cdot 100}{30} = 70.$$

Die zweite Proportion ist **30 : 35 = 100 : y**, worin **y** die Wirkung **ID** bezeichnet, und woraus auch ihre Größe folgt, nämlich

$$y = \frac{35 \cdot 100}{30} = 116\,{}^{2}/_{3}.$$

Kennt man die Größe des Winkels **ADH**, welcher durch die schiefe Linie **AD** und durch die Vertikale **DH** gebildet wird, so kann man dasselbe Resultat finden, indem man **DF** als ganzen Sinus annimmt. Dann ist **IF** (**= DG**) die Tangente, welche nach dem angenommenen Beispiel die von **35** Grad ist, und **ID** ist die Sekante. Man hat demnach

DF : DI : IF = sint. : sec. 35 : tng. 35.

Nimmt man **ID** zum ganzen Sinus, so hat man

ID : IF : FD = sint. : sin. 35 : sin. 55.

Es ist zu bemerken, daß durch das angezeigte Verfahren eine Figur **DIFG** gebildet wird, welcher man den Namen Paral-

lelogramm der Kräfte giebt; denn die Diagonale **DF** desselben kann immer eine zusammengesetzte Kraft ausdrücken, welche im Stande ist, zweien andern Kräften **FI** und **FG**, dargestellt durch zwei seiner anliegenden Seiten, das Gleichgewicht zu halten (wenn sie gerade nach entgegengesetzter Richtung wirkt), oder diese zu ersetzen. —

Statt zweier ziehenden Kräfte kann man auch zwei andere annehmen, die von **E** und **A** aus in **D** (Figur **4**) drückend wirken. Nimmt man die Vertikale **DF** zur Bezeichnung des Gewichtes und zieht man, wie vorn, die Linien **FG** und **FI** parallel mit den Richtungen der Kräfte, so drücken die Seiten **DG** und **DI** des Parallelogramms **DGFI** die Größen aus, mit welchen diese Kräfte im Verhältniß zu **DF** wirken, um den Körper in seiner Lage zu erhalten. Da **FI** = **GD**, so können das Gewicht und die beiden Kräfte, welche dasselbe unterstützen, im Falle des Gleichgewichtes durch die drei Seiten des rechtwinklichen Dreiecks **DFI** dargestellt werden. Bezeichnet man demnach das Gewicht des Körpers durch **H**, die Kraft, welche von **G** aus an **D** drückt, durch **E**, und die von **I** aus aus an **D** drückende durch **P**; so hat man die Proportion **H : E : P = DF : FI : ID.** Oder, wenn man **DF** zum ganzen Sinus nimmt,

H : E : P = sint. : tng. FDI : sec. FDI. —

Wenn der aufgehängte Körper durch eine Kraft **CB** (Figur **2**), die schief nach oben wirkt, aus der vertikalen Richtung gebracht wird, so folgt daraus, daß von den schiefen Kräften **AB** und **BC**, unabhängig von den Seitenwirkungen, jede einen Theil des Gewichts dieses Körpers trägt.

Um das Verhältniß dieser Theile zu dem ganzen Gewicht zu finden, trage man auf die aus dem Mittelpunkt des Körpers **B** errichtete Vertikale irgend eine Größe **BD**, welche das Gewicht des Körpers ausdrückt, und bilde ferner das Parallelogramm **BEDF**, dessen Seiten **EB** und **BF** die schiefen Wirkungen der Kräfte **A** und **C** ausdrücken. Da man diese Linien als die Diagonalen der rechtwinklichen Parallelogramme **LEIB** und **BHFM** ansehen kann, so wird jede in zwei Kräfte zerlegt, wovon die eine den Körper vertikal trägt und die andere denselben horizontal von den Vertikalen **AO** und **CQ** entfernt. Demnach drückt **IB** die vertikale Kraft oder den Theil des Gewichts aus, den die Kraft **EB** trägt, und **HB** denjenigen, welcher von der andern Kraft **BF** getragen wird. Da diese beiden Theile in derselben Richtung wirken, so müssen sie sich vereinigen und ihre

Summe muß gleich dem Gewichte **DB** seyn. Wirklich folgt auch, da **ID = HB** ist, **BH + BI = ID + BI = BD.**

Was die horizontalen, durch **LB** und **BM** bezeichneten Kräfte betrifft, so sind sie gleich und gerade entgegengesetzt, und heben sich deßhalb auf

Es folgt aus dem, was soeben angeführt worden ist, daß jede schiefe Wirkung sich in zwei andere zerlegen läßt, wovon die eine vertikal und die andere horizontal ist, indem man jene zur Diagonale eines rechtwinkligen Parallelogramms nimmt.

Ihre Größe findet man leicht vermittelst eines Maßstabes, wenn die Figur gezeichnet wird, — oder durch trigonometrische Rechnung, wenn man die Winkel **ABD** und **DBC** kennt, welche die Richtungen **AB** und **BC** mit der Vertikalen **BD** machen, und nacheinander zum ganzen Sinus die Diagonalen **BD**, **BE** und **BF** nimmt. —

In Figur **5** denke man sich das Gewicht — statt an Fäden aufgehängt, die ziehend wirken — durch Kräfte unterstützt, die drückend wirken. Da aber diese Anordnung nichts in dem System der Kräfte ändert, so kann man bei dieser Figur alles das anwenden, was von der vorhergegangenen gesagt worden ist. Es findet nur der Unterschied statt, daß das Parallelogramm der Kräfte unter dem Gewichte ist, statt oben zu seyn.

Demnach drückt **ID + IB = BD**, die Summe der vertikalen Wirkungen aus, welche die Last unterstützen, und **BM** und **BL** drücken die horizontalen Wirkungen aus, welche, da sie gleich sind und nach entgegengesetzter Richtung stattfinden, sich aufheben. —

In den beiden vorhergegangenen Figuren bilden die Richtungen der Kräfte, die ziehend oder drückend zur Unterstützung der Last wirken, einen spitzen Winkel; in den Figuren **3** und **6** bilden jene Richtungen einen stumpfen Winkel. Daraus folgt, daß die Kraft **C** in Figur **3**, welche zieht, um das Gewicht **B** von der Vertikalen **AL** zu entfernen, — statt zum Unterstützen der Last **B** beizutragen — ihre Wirkung durch das Bestreben vermehrt, in der nämlichen Richtung zu wirken. Um diese Vermehrung kennen zu lernen, muß man mit **BD** (Figur **3** und **6**), welches die vertikale Wirkung des Gewichtes vorstellt, das Parallelogramm der Kräfte **BADF** bilden. Hierauf nehme man die schiefen Kräfte **BA** und **BF** zu Diagonalen der beiden Rechtecke **LAIB** und **BHFM**, deren Seiten **BI** und **BH** die vertikalen Wirkungen, und **LB** und **BM** die horizontalen ausdrücken.

Es ist zu bemerken, daß die Wirkung der Kraft **AB** (Figur **3**), welche von unten nach oben stattfindet, größer ist als die Last — um die Größe **ID**, welche zum Aufheben des Theils **BH** dient, den die andere von oben nach unten wirkende Kraft **BF** zur Lastwirkung fügt. Ebenso übersteigt die vertikale Wirkung der Kraft **BA** (Fig. **6**), welche von unten nach oben drückt, die Lastwirkung **BD** um die Größe **DI**, um der Wirkung **BH** von der andern Kraft **BF**, die schief von oben nach unten wirkt, das Gleichgewicht zu halten. In beiden Fällen bleibt demnach immer nur **BD** als vertikale Wirkung übrig. — In Bezug auf die horizontalen Wirkungen **LB** und **BM** ist es klar, daß sie, da sie in beiden Figuren gleich und entgegengesetzt sind, sich aufheben. —

Ebenso wie man eine Kraft in zwei andere zerlegen kann, kann man zwei Kräfte in eine einzige vereinigen, indem man die Diagonale des Parallelogramms bestimmt, von dem jene Kräfte die anstoßenden Seiten bilden. Es ist hiernach klar, daß man, welches auch die Anzahl der auf einen Punkt wirkenden Kräfte ist, diese in eine einzige zusammensetzen kann. Man hat hierzu nur nöthig, die Resultante von zwei und zwei dieser Kräfte zu construiren, dann wieder zwei und zwei dieser Resultanten zu vereinigen, bis man zu zwei Hauptresultanten gekommen ist, welche man zu einer einzigen zusammensetzt, wie wir es soeben gesehen haben. Auf diese Weise findet man, daß **PY** (Fig. **7**) die Resultante der Kräfte **PA**, **PB**, **PC** und **PD** ist, welche alle auf den Punkt **P** wirken.

Diese Zusammensetzung ist in der Baukunst oft von Nutzen, um eine einzige Kraft mehren andern entgegenzusetzen, welche in verschiedenen Richtungen wirken und in einem Punkte zusammenlaufen.

Zweites Kapitel.

Von den Hebeln.

Hebel sind Stangen, die um einen Stützpunkt beweglich sind, und mit deren Hülfe man eine Last erheben oder ins Gleichgewicht bringen kann. Die verschiedene Lage, welche die Last und die Kraft in Bezug auf den Stützpunkt haben können, führt zur Unterscheidung dreier Arten von Hebeln.

Bei den Hebeln der ersten Art, wie die Figur 8 einen darstellt, ist der Stützpunkt **O** zwischen der Kraft **P** und der Last **Q**.

Ein Hebel der zweiten Art (Fig. 9) ist der, in welchem sich die Last **Q** zwischen dem Stützpunkt **O** und der Kraft **P** befindet. Es ist zu bemerken, daß bei dieser Lage Last und Kraft nach entgegengesetzten Richtungen wirken.

Bei dem Hebel der dritten Art (Figur 10) befindet sich die Kraft **P** zwischen der Last und Stütze, und Kraft und Last wirken nach entgegengesetzten Richtungen. —

Indem man die Stütze dieser drei Hebelarten als eine dritte Kraft ansieht, welche mit den beiden andern im Gleichgewicht ist, so hat man zwei Fälle zu betrachten: 1) den, wo sich die Richtungen der Last und Kraft in einem Punkt **R** (Figur 11) vereinigen; 2) den, wo sie parallel sind.

Wenn man in dem ersten Fall aus dem Stützpunkt **O** Parallelen mit den beiden Richtungen zieht, um das Parallelogramm **OmRn** (Figur 11 und 12) zu bilden, so verhalten sich die drei Wirkungen — nämlich der Kraft, der Last und der Stütze — wie die drei Seiten des Dreiecks **OmR** oder des ihm gleichen **OnR**. Man hat nämlich **P : Q : R = mR : nR : OR**. Da sich nun, wie in der Trigonometrie gezeigt wird, die Seiten eines Dreiecks wie die Sinusse der

gegenüber liegenden Winkel verhalten, so hat man, indem man OR zum ganzen Sinus nimmt,

$$P : Q = \text{sin. } ORn : \text{sin. } ORm,$$

und, indem man vom Punkte O die beiden Perpendikel Od und Of auf die Richtungen RQ und RP fällt,

$$\text{sin. } ORn : \text{sin. } ORm = Od : Of.$$

Aus diesen beiden Proportionen folgert man

$$P : Q = Od : Of, \text{ woraus } P \,.\, Of = Q \,.\, Od.$$

Dieser letztere Ausdruck enthält zwei gleiche Produkte, welche man die Momente der Kräfte in Bezug auf den Stützpunkt O nennt. — Diese Gleichung findet statt sowohl bei dem geradlinigen als auch bei dem Winkelhebel (Figur 11 und 12).

Da dieses Verhältniß besteht, was auch die Größe der Winkel mRO und ORn, welche die Richtungen RQ und RP machen, seyn mag, so folgt daraus, daß dasselbe auch noch giltig ist, wenn die Winkel Null oder jene Richtungen parallel sind. Hieraus ergiebt sich folgender allgemeiner Lehrsatz, den man in allen Lehrbüchern der Mechanik findet: Damit zwei an einem geraden oder Winkelhebel angebrachte Kräfte sich im Gleichgewicht halten, müssen sie im umgekehrten Verhältniß der aus dem Stützpunkt auf ihre Richtungen gefällten Perpendikel stehen; oder mit andern Worten: Damit zwei an einem geraden oder Winkelhebel angebrachte Kräfte im Gleichgewicht sind, müssen die Momente dieser Kräfte in Bezug auf den Stützpunkt einander gleich seyn. —

Da man dem Gleichgewicht des Hebels Genüge leistet, wenn nur gleiche Momente erhalten werden, so folgt daraus, daß, wenn man die Kraft beliebig vermehren oder vermindern darf, man sie auf eine bestimmte Entfernung vom Stützpunkt anbringen kann, ohne das Gleichgewicht zu stören. Die Größe der Kraft ergiebt sich aus $P \,.\, Of = Q \,.\, Od$, woraus man herleitet $P = \frac{Q \,.\, Od}{Of}$.

Ebenso leicht bestimmt man auch die Entfernung Of, auf welcher die bekannte Kraft P mit dem auf dem Abstand Od angebrachten Gewicht Q im Gleichgewicht ist. Nämlich die Gleichung des Gleichgewichts ist $P \,.\, Of = Q \,.\, Od$; $Of = \frac{Q \,.\, Od}{P}$.

Es ist übrigens klar, daß es hinreicht, diese Perpendikel **Of** und **Od** zu kennen, denn die Größen, welche die eigentlichen Hebelsarme sind, ergeben sich aus den Dreiecken, in denen sie sich befinden.

Man nehme zwei Hebel an (Figur **13** und **14**), wovon der eine ein gerader und der andere ein Winkelhebel ist, ferner die Last sey **100** Pfd., der Hebelsarm **DE** sey **6** Fuß; sein Moment ist dann **600**. Wenn man nun die Entfernung **Of**, auf welche man ein Gewicht von **60** Pfd. anbringt, dergestalt erfahren will, daß dieses Gewicht mit dem ersten im Gleichgewicht ist, so hat man

$$Of = \frac{Q \,.\, Od}{P} = \frac{600}{60} = 10 \text{ Fuß.}$$

Die gesuchte Entfernung muß also **10** Fuß seyn.

Wenn man umgekehrt zu wissen verlangt, wie groß eine Kraft **P** seyn muß, welche, am andern Hebelsarm in **C** auf einen durch **Of** bezeichneten Abstand vom Stützpunkt angebracht, mit dem Gewicht **Q** in dem Abstand **OL** Gleichgewicht hält, so dient hierzu die Formel

$$P = \frac{Q \,.\, Od}{Of}.$$

Wenden wir diese Formel auf die gewählten Zahlen im vorhergegangenen Beispiel an, so steht die Frage so: man soll eine Kraft finden, die, auf eine Entfernung von **10** Fuß vom Stützpunkt angebracht, mit einem Gewicht von **100** Pfd. am Ende eines **6** Fuß langen Hebelarms im Gleichgewicht ist. Man muß alsdann nach der Formel **600** durch **10** dividiren, und der Quotient **60** drückt die Größe aus, mit welcher diese Kraft wirken muß. — Wenn man die Kraft — statt in **C** — auf eine Entfernung **12** Fuß vom Stützpunkt in **B** anbringen wollte, so wäre ihre Größe $= \frac{600}{12} = 50$. Wenn man sie endlich an einen **15** Fuß vom Stützpunkt entfernten Punkt bringen wollte, so würde ihre Größe seyn $\frac{600}{15} = 40$. Um demnach eine Kraft an einen mehr oder weniger vom Stützpunkt entfernten Punkt zu bringen, muß man das Moment der Last, welche im Gleichgewicht erhalten werden soll, mit der Entfernung vom Stützpunkt, senkrecht auf die Richtung der Kraft genommen, dividiren.

Drittes Kapitel.

Vom Schwerpunkte.

Es ist schon vom Schwerpunkte im Anfang des **2.** Buchs im **2.** Band Seite **16** bei der Stabilität die Rede gewesen. Wir haben dort angeführt, daß nicht bloß die Körper im Ganzen durch ihre Schwere das Bestreben haben, einer vertikalen Richtung zu folgen, sondern daß es auch bei allen Theilen der Fall ist, aus denen sie zusammengesetzt sind. Wenn man demnach einen Körper von beliebiger Gestalt an einem Faden aufhängt, so nimmt er eine solche Lage an, daß die Verlängerung des Fadens ins Innere des Körpers eine Achse bildet, in deren Beziehung sich alle seine Theile im Gleichgewicht befinden. So oft man den Aufhängungspunkt am Körper verändert, giebt der verlängerte Faden eine neue Achse fürs Gleichgewicht (Schwerlinie). Aber es ist zu bemerken, daß sich alle diese Achsen in einem und demselben Punkte schneiden, der sich in dem Mittelpunkt der Masse des Körpers befindet, wenn derselbe aus gleichartigen Theilen besteht, — bisweilen auch außerhalb, wenn der Körper eine bedeutende Krümmung hat. Dieser Punkt ist der Schwerpunkt.

Es ist leicht einzusehen nach dem, was soeben von dem Schwerpunkte gesagt worden ist, daß ein fester Körper im Zustand der Ruhe erhalten wird, wenn man ihn in seinem Schwerpunkt durch eine vertikale Kraft unterstützt, die der Resultante aller auf ihn wirkenden Kräfte gleich, aber nach entgegengesetzter Richtung thätig seyn muß. Demnach würde (Figur **2** und **5**) die durch die ziehenden oder drückenden Kräfte **AB** und **BC** im Gleichgewicht erhaltene Last ebenfalls sich im Gleichgewicht befinden durch eine vertikale Kraft, welche durch die

Diagonale **DB** des Parallelogramms, als die Resultante jener Kräfte, dargestellt wird. —

Die Kenntniß der Lage des Schwerpunktes ist zur Bestimmung der Widerstandsfähigkeit, der Kraftäußerung und des Grads der Stabilität eines Bautheils nothwendig. Es giebt Umstände, wo man von der Form der Körper absehen kann, besonders wenn sie nur mit ihrem Gewicht wirken, welches man sich in dem Schwerpunkt vereinigt denkt. Man kann auch zur weiteren Vereinfachung des Verfahrens statt der Last eine Kraft setzen. —

Wir wollen nun die einfachsten Regeln zur Bestimmung des Schwerpunktes von Linien, Flächen und Körpern angeben, indem wir sie aus schweren und gleichartigen Theilen zusammengesetzt annehmen.

Von dem Schwerpunkt der Linien.

Man kann sich eine gerade Linie aus einer unendlichen Menge gleich schwerer Punkte, die in einerlei Richtung an einander gereiht sind, zusammengesetzt vorstellen. Hiernach ist es klar, daß, wenn man sie in der Mitte aufhängt, die beiden Theile, da sie aus einer gleichen Menge gleich schwerer Punkte, in gleichen Entfernungen vom Aufhängungspunkt befindlich, zusammengesetzt sind, nothwendig sich im Gleichgewicht befinden müssen. Daraus folgt, daß der Schwerpunkt einer geraden Linie sich in der Mitte ihrer Länge befindet. —

Da sich die Punkte einer krummen Linie nicht in einerlei Richtung befinden, so kann auch der Mittelpunkt ihrer Ausdehnung nicht mit ihrem Schwerpunkte einerlei seyn; d. h. eine Kurve, die in ihrer Mitte aufgehängt ist, kann nur in zwei einander entgegengesetzten Lagen im Gleichgewicht seyn, — in der einen, wenn die beiden Theile der Kurve nach unten gekehrt sind, — in der andern, wenn sie es nach oben sind, so daß sich die Kurve in einer Vertikalebene befindet.

Ist diese Kurve ein Kreisbogen **ADB** (Figur **15**), so erkennt man leicht aus der Gleichförmigkeit ihrer Krümmung, daß sich ihr Schwerpunkt in einer geraden Linie **DC** befindet, welche man aus dem Mittelpunkt **C** nach der Mitte **D** zieht. Wenn man ferner die Sehne **AB** zieht, so muß sich der Schwerpunkt zwischen den Punkten **D** und **E** befinden.

Vorausgesetzt, es seyen durch alle Punkte der Linie **DE** mit der Sehne **AB** Parallelen gezogen, die sich in der Kurve endigen, und man nimmt an, daß jede dieser Linien an ihren Endpunkten die zu-

gehörigen Theile der Kurve trage, so ist die Linie **DE** mit allen diesen Gewichten belastet. Da nun die Kurventheile, welche zu jeder mit **AB** parallelen Linie gehören, um so größer werden, je näher sie sich an **D** befinden, so muß der Schwerpunkt **G** näher am Punkte **D** als an **E** liegen.

Um die Lage dieses Punktes auf dem Halbmesser **CD**, welcher den Bogen in zwei gleiche Theile theilt, zu bestimmen, muß man folgende Proportion ansetzen: die Länge des Bogens **ABD** verhält sich zur Sehne **AB**, wie der Halbmesser **CD** zu einem vierten Gliede $x = CG$, dessen Werth demnach ausgedrückt ist durch $\frac{AB \,.\, CD}{ABD}$; d. h. um auf dem Halbmesser **DC** die Entfernung **CG** des Schwerpunktes vom Mittelpunkt des Kreisbogens zu erhalten, muß man die Sehne **AB** mit dem Halbmesser **CD** multipliciren und das Produkt durch die Länge des Bogens **ABD** dividiren.

Wenn der Umfang des Kreises vollständig ist, so ist klar, daß, da die Achsen fürs Gleichgewicht Durchmesser sind, der Durchschnittspunkt von diesen, der Mittelpunkt des Kreises, der Schwerpunkt ist. Es ist dieses der Fall bei allen vollständigen und symmetrischen Kurven, welche einen Mittelpunkt haben; auch bei allen Verbindungen gerader Linien, die regelmäßige und symmetrische Polygone bilden.

Von dem Schwerpunkt der Flächen.

Damit die Flächen einen Schwerpunkt haben können, muß man sie wie die Linien materiell, d. h. aus festen, gleichartigen und schweren Theilen zusammengesetzt denken.

Bei den ebenen und glatten Flächen ist der Schwerpunkt einerlei mit dem Mittelpunkt der Fläche. Demnach wird der Schwerpunkt **G** eines Quadrats, eines Rechtecks oder eines Parallelogramms im Allgemeinen durch den Durchschnitt der Diagonalen **AD** und **BC** (Figur **16**, **17** und **18**) gefunden.

Der Schwerpunkt eines regelmäßigen Polygons, welches aus einer geraden oder ungeraden Anzahl Seiten besteht, ist einerlei mit dem des Kreises, welcher in- oder umschrieben werden kann.

Um den Schwerpunkt eines Dreiecks (Figur **19**) zn finden, muß man aus der Mitte jeder seiner Seiten nach der gegenüberliegenden Winkelspitze gerade Linien ziehen. Der Durchschnittspunkt dieser Linien ist der Schwerpunkt. Denn macht man bei jeder Seite die Annahme,

die Fläche des Dreiecks sey aus geraden Linien zusammengesetzt, die parallel mit dieser Seite sind, so werden die Linien **AE**, **BF** und **CD** Achsen fürs Gleichgewicht seyn, deren Durchschnitt **G** den Schwerpunkt geben muß (S. **13**). — Man findet ferner, daß dieser Punkt auf ein Drittel jeder der Achsen, von der Grundlinie ausgegangen, liegt, so daß es hinreicht, eine dieser Achsen zu ziehen und sie in drei gleiche Theile zu theilen; der der Grundlinie zunächst liegende Theilungspunkt ist der Schwerpunkt des Dreiecks.

Um den Schwerpunkt einer geradlinigen unregelmäßigen Ebene, wie das Fünfeck **ABCDE** (Figur **20**) ist, zu finden, theile man dasselbe in drei Dreiecke **AED**, **ABC** und **ADC**, deren Schwerpunkte **H**, **F** und **G** man bestimmt. Man ziehe hierauf zwei Linien **NO** und **OP**, die einen rechten Winkel bilden und in welchem sich das Polygon befindet. Man multiplicire dann den Inhalt jedes Dreiecks mit der Entfernung seines Schwerpunktes von der Linie **ON**, d. i. beziehlich mit **Ff**, **Gg** und **Hh**, und dividire die Summe dieser Produkte mit dem ganzen Inhalt des Fünfecks, wodurch man eine mittlere Entfernung erhält, auf welche man parallel mit **ON** eine unbestimmt lange Linie **IK** zieht. Indem man dasselbe Verfahren in Bezug auf die Linie **OP** anwendet, findet man eine neue mittlere Entfernung, auf welche man eine andere Linie **LQ** parallel mit **OP** zieht, welche die erste in einem Punkte **M** schneidet, der der Schwerpunkt des Fünfecks ist.

Der Schwerpunkt eines Kreisausschnittes **AEBC** (Figur **21**) muß in dem Halbmesser **CE** seyn, welcher den Bogen in zwei gleiche Theile theilt. Um zu bestimmen, auf welcher Entfernung vom Mittelpunkt **C** des Bogens sich dieser Punkt **G** befindet, muß man, nachdem man den doppelten Halbmesser **CE** mit der Sehne **AB** multiplicirt hat, das Produkt durch den dreifachen Bogen **AEB** dividiren. Der Quotient drückt die Entfernung **CG** des Schwerpunktes des Ausschnitts von dem Mittelpunkte des Bogens **AEB** aus.

Um den Schwerpunkt eines Ringstücks **DAEBF** (Figur **22**), welches zwischen zwei konzentrischen Kreisbogen liegt, zu finden, muß man:

1) den Schwerpunkt des größeren Ausschnittes **AEBC** und den des kleineren **DCF** finden;

2) den Inhalt jeder dieser Ausschnitte mit der Entfernung ihrer Schwerpunkte von dem gemeinschaftlichen Mittelpunkte **C** multipliciren;

3) das kleinere Produkt von dem größeren abziehen und den Rest durch den Inhalt des Ringstücks DAEBF dividiren. Dieser Quotient ist die Entfernung des Schwerpunktes G vom Mittelpunkte C.

Zur Bestimmung des Schwerpunktes eines Abschnittes AEB (Figur 23) muß man das Produkt des Inhalts vom Dreieck ABC mit der Entfernung seines Schwerpunktes vom Mittelpunkte C — von dem Produkt des Inhalts des Ausschnittes mit der Entfernung seines Schwerpunktes von demselben Punkte C abziehen und den Rest durch den Inhalt AEB dividiren. Der Quotient drückt die Entfernung des Schwerpunktes G des Abschnitts vom Mittelpunkt C aus, und diese Entfernung trägt man auf den Halbmesser EC, welcher den Ausschnitt in zwei gleiche Theile theilt. —

Die soeben angeführten Regeln reichen hin, um den Schwerpunkt jeder Art von ebenen Flächen zu finden, was auch ihre Figur seyn mag. Man hat nur nöthig, sie in Dreiecke, Aus- oder Abschnitte zu theilen und dann zu verfahren, wie es für das unregelmäßige Fünfeck S. 16 angeführt worden ist.

Von dem Schwerpunkte fester Köper.

Wir setzen stets voraus, daß die festen Körper, von denen hier die Rede ist, aus gleichartigen Theilen, die durchaus gleiche Schwere haben, zusammengesetzt sind. Wir unterscheiden alle Arten von Körpern in zwei Hauptklassen, nämlich: regelmäßige und unregelmäßige Körper.

Die regelmäßigen Körper, welche man unter der ersten Klasse begreift, können zusammengesetzt betrachtet werden aus Elementen von der Figur ihrer Basis, so auf einander gelegt, daß ihre Schwerpunkte sich in einer vertikalen Linie befinden, welche wir senkrechte Achse nennen.

Bei den Parallepipeden, Prismen, Cylindern, Kugeln und Sphäroiden liegt der Schwerpunkt in der Mitte der senkrechten Achse, wegen der Aehnlichkeit und Symmetrie ihrer gleich weit von diesem Punkte entfernten Theile.

Bei den Pyramiden und Kegeln (Figur 24 und 25), welche sich von der Grundfläche bis zur Spitze vermindern, liegt der Schwerpunkt auf ein Viertel der Achse von der Basis aus.

Bei den Paraboloiden, welche sich wegen ihrer Krümmung weniger verjüngen, liegt der Schwerpunkt auf ein Drittel der Achse von der Basis aus.

Um den Schwerpunkt einer abgekürzten Pyramide oder eines abgekürzten Kegels zu finden (Figur **24** und **25**), muß man **1**) den Inhalt der ganzen Pyramide oder des ganzen Kegels multipliciren mit der Entfernung des Schwerpunktes von der Spitze; **2**) von diesem Produkt dasjenige des — der abgekürzten Pyramide oder dem abgekürzten Kegel fehlenden Stücks **MSR** und der Entfernung seines Schwerpunktes von der Spitze abziehen; **3**) den Rest durch den Inhalt des abgekürzten Körpers dividiren. Der Quotient ist die Entfernung des Schwerpunktes G dieses abgekürzten Theils der Pyramide oder des Kegels von der Spitze.

Der Schwerpunkt einer Halbkugel ist auf drei Achtel des ihre Höhe bildenden Halbmessers von dem Mittelpunkte aus. —

Um den Schwerpunkt eines Kugelabschnitts zu finden (Figur **26**), muß man folgende Proportion machen: der dreifache Halbmesser weniger der Höhe des Abschnitts verhält sich zum Durchmesser weniger drei Viertel der Höhe des Abschnitts, wie diese Höhe zu einem vierten Glied, das die Entfernung von dem höchsten Punkte oder Scheitel bis zum Schwerpunkte ausdrückt, der in dem Halbmesser liegt, welcher die Achse des Abschnitts ist.

Bezeichnet man den Halbmesser mit **r**, die Höhe des Kugelabschnittes mit **e** und die gesuchte Entfernung mit **x**, so hat man demnach:

$$3r - e : 2r - {}^3/_4 e = e : x,$$

woraus folgt: $x = \frac{8re - 3ee}{12r - 4e}$.

Nehmen wir nun an, der Halbmesser sey **7** Fuß und die Höhe des Kugelabschnitts **3** Fuß, so hat man $x = \frac{8 . 7 . 3 - 3 . 9}{12 . 7 - 3 . 4}$, was nach Ausführung der vorgeschriebenen Rechnung giebt $x = 1 + {}^{69}/_{72} = 1\,{}^{23}/_{24}$, welches auf der Achse des Abschnitts die Entfernung von dem höchsten Punkte desselben bis zum Schwerpunkte ist. —

Um den Schwerpunkt einer Kugelzone (Figur **27**) zu erhalten, verfährt man, wie es vorn für die abgekürzten Pyramiden und Kegel erklärt worden ist. Nämlich, nachdem man den Schwerpunkt des fehlenden Abschnitts und hierauf desjenigen, in welchem die Zone mit einbegriffen ist, gefunden hat, multiplicirt man den Inhalt von jedem mit dem Abstande seines Schwerpunktes von dem höchsten Punkt **A**, und, nachdem man das kleinere Produkt vom größeren abgezogen hat, dividirt man den Rest mit dem Inhalt der Zone.

Nimmt man demnach den Halbmesser (wie vorhin) gleich 7 an, die Höhe der Zone = 2 und die des fehlenden Abschnitts = $1\frac{1}{2}$, so findet man die Entfernung des Schwerpunktes des fehlenden Abschnitts nach der Formel $x = \frac{8re - 3ee}{4(3r - e)}$, was für diesen Fall giebt $x = \frac{4 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 1\frac{1}{2} - 3 \cdot 2\frac{1}{4}}{4(21 - 1\frac{1}{2})}$, und nachdem man die vorgeschriebene Rechnung ausgeführt hat, $x = \frac{103}{104}$, welches die Entfernung des Schwerpunktes von dem höchsten Punkte A ist. Die Entfernung des Schwerpunktes des Abschnitts, in welchem sich die Zone mitbegriffen findet, ist nach derselben Formel $x = \frac{8 \cdot 7 \cdot 3\frac{1}{2} - 3 \cdot 12\frac{1}{4}}{4(3 \cdot 7 - 3\frac{1}{2})}$, was nach ausgeführter Rechnung giebt $x = 2\frac{11}{40}$, als die Entfernung des Schwerpunktes von demselben Punkte A.

Wir wollen den Leser nicht bis zu den Elementen der Geometrie zurückführen und nur das Verfahren kennen lehren, wie man den Inhalt eines Kugelabschnitts und einer Kugelzone findet.

I.

Es wird in den Elementen der Geometrie gezeigt, daß der Inhalt der Kugel gleich ist dem Produkte ihrer Oberfläche in den dritten Theil des Halbmessers; denn man kann sich dieselbe gebildet denken aus einer unzähligen Menge von Pyramiden, welche ihre Grundflächen in der Oberfläche und ihre Spitzen gemeinschaftlich in dem Mittelpunkt haben.

II.

Ein Kugelstück wie **ABCD** (Figur **26**) heißt Ausschnitt, der zum einen Theil ein Kugelabschnitt **ABD** ist und zum andern ein Kegel, dessen Spitze sich in dem Mittelpunkt **C** befindet. Dieser Ausschnitt hat ebenfalls zum Inhalt das Produkt der krummen Fläche **BAD** und des dritten Theils des Halbmessers **AC** oder **BC**, weil man sich ihn ebenfalls als aus Pyramiden zusammengesetzt denkt, die ihre Spitze im Mittelpunkt haben und deren Grundflächen gleich sind der krummen Fläche des Abschnitts **ABD**.

III.

Es wird auch in der Geometrie gelehrt, daß die Oberfläche einer Kugel gleich ist dem Produkt der Peripherie ihres größten Kreises in ihren

Durchmesser, und daß man die krumme Fläche eines Abschnitts findet, indem man die Peripherie des größten Kreises mit seiner Höhe **AI** oder **AK** multiplicirt. — Wir wollen eine Anwendung von dem Ebengesagten auf eine Kugelzone machen (Figur **27**), von welcher man den Schwerpunkt finden soll. — Zuerst von dem größeren Abschnitt **BAD**, dessen Höhe **3** $^1/_2$ angenommen wurde.

Da der Halbmesser **7**, also der Durchmesser **14** ist, so hat die Peripherie **44**, und die krumme Fläche des Segments ist also gleich **44** . **3** $^1/_2$, woraus das Produkt **154** folgt.

Die krumme Fläche des kleinern Abschnitts ist **44** . **1** $^1/_2$, giebt **66**.

Der Inhalt des größern Ausschnitts **CBAD** ist **154** . $^7/_3$, giebt **359** $^1/_3$.

Um nun den Inhalt des Abschnitts **BAD** zu erhalten, muß man den Inhalt des Kegels **BCD** abziehen, welcher gleich ist dem Produkt seiner Grundfläche, die eine Kreisfläche vom Halbmesser **BK** ist, und des dritten Theils von **KC**. Hierbei ist zu bemerken, daß der Inhalt der Kreisfläche gleich ist dem Quadrat ihres Halbmessers multiplicirt mit **3** $^1/_7$, und daß aus der Eigenschaft des Kreises folgt, **AK** multiplicirt mit **KL** ist gleich dem Quadrat von **BK**, Halbmesser des Kreises, welcher die Grundfläche des Kegels bildet. Man hat demnach den Inhalt dieser Kreisfläche, indem man das Produkt von **AK**, **KL** und **3** $^1/_7$ macht, d. i. **3** $^1/_2$. **10** $^1/_2$. **3** $^1/_7$, welches **115** $^1/_3$ giebt. Der Inhalt des Kegels ist nun $\frac{\mathbf{115}\,^1/_2 \,.\, \mathbf{3}\,^1/_2}{\mathbf{3}}$, woraus folgt **134** $^3/_4$. — Zieht man diesen Inhalt von dem des Ausschnitts ab, den wir = **359** $^1/_3$ gefunden haben, so ist der Rest **224** $^7/_{12}$ der Inhalt des größern Abschnitts **BAD**, in welchem die Zone enthalten ist.

Da die krumme Fläche des kleinern Abschnitts **66** ist, so hat man den Inhalt des dazugehörigen Ausschnittes, indem man das Produkt **66** . $^7/_3$ macht, welches **154** giebt. Der Inhalt des Kegels, den man abziehen muß, um den des Abschnitts zu erhalten, ist nach dem Ebengesagten gleich **AI** . **IL** . **3** $^1/_7$. $\frac{\mathbf{IC}}{\mathbf{3}} = \mathbf{1}\,^1/_2 \,.\, \mathbf{12}\,^1/_2 \,.\, \mathbf{3}\,^1/_7 \,.\, \frac{\mathbf{5}\,^1/_3}{\mathbf{3}}$, was nach ausgeführter Rechnung giebt **108** $^1/_{29}$. Zieht man diesen Inhalt des Kegels von dem des kleineren Ausschnittes ab, für den wir den Werth **154** gefunden haben, so bekommt man den Inhalt des gesuchten Abschnittes **EAH** gleich **45** $^{27}/_{28}$. — Da man nun den Inhalt der beiden Abschnitte und die Entfernung ihrer Schwerpunkte von

ihrem gemeinschaftlichen äußersten Punkte A kennt, so muß man, um den Abstand des Schwerpunktes der Zone von demselben Punkt zu erhalten, den Inhalt jedes Abschnittes mit der Entfernung seines Schwerpunktes von dem Punkte A multipliciren, und, nachdem man das kleinere Produkt von dem größern abgezogen hat, den Rest mit dem Inhalt der Zone dividiren.

Demnach ist das Moment des größeren Abschnitts, d. i. das Produkt aus seinem Inhalt in die Entfernung seines Schwerpunktes von A, $= 224\,{}^{7}/_{24} \cdot 2\,{}^{11}/_{40} = 510\,{}^{2699}/_{2912}$, das des kleineren $= 45\,{}^{27}/_{28} \cdot {}^{103}/_{104} = 45\,{}^{1521}/_{2912}$

folglich die Differenz $= 465\,{}^{1178}/_{2912}$.

Dividirt man diese Differenz mit dem Inhalt der Zone, welchen wir $178\,{}^{5}/_{12}$ gefunden haben, so erhält man die Entfernung des Schwerpunktes dieser Zone von dem äußersten Punkte $A = 2\,{}^{1303}/_{2141}$, oder sehr nahe $= 2\,{}^{5}/_{10}$.

Wir haben dieses Beispiel sehr umständlich behandelt, um den Kunstverständigen die Anwendung zu erleichtern und auch denen, welchen die Lehrsätze der Geometrie nicht immer gegenwärtig sind.

Von dem Schwerpunkte unregelmäßiger Körper.

Da alle Arten von Körpern, was auch ihre Gestalt seyn mag, in Pyramiden getheilt werden können, ebenso wie wir vorn (S. 17) gezeigt haben, daß die unregelmäßigen Ebenen in Dreiecke getheilt werden können, so folgt daraus, daß man ihren Schwerpunkt nach derselben Methode finden kann. Aber statt zweier einen rechten Winkel bildender Linien, muß man zwei vertikale Plane **NAC** und **CEF** annehmen, zwischen welchen sich der Körper **G** befindet (Figur **28**). Man bezieht auf jeden dieser Plane die Momente der Pyramiden, d. h. das Produkt ihres Inhalts in die Entfernung ihres Schwerpunktes von den Planen. Man dividirt die Summe dieser Produkte in Bezug auf jeden Plan durch den Inhalt des ganzen Körpers, so geben die Quotiente die Entfernungen zweier anderen Plane **BKL** und **DHM** an, die mit den erstern parallel sind. Der Durchschnitt dieser beiden Plane giebt eine Linie **IP**, eine Achse fürs Gleichgewicht, in welcher sich der Schwerpunkt des Körpers befinden muß. Um diesen Punkt **G** zu bestimmen, stelle man sich einen dritten Plan **NOF**

vor, welcher senkrecht zu den vorhergehenden, d. i. horizontal ist, und auf welchem man den Körper liegend annehmen kann. Man suche nun auch die Momente der Pyramiden in Bezug auf diesen Plan, indem man den Inhalt einer jeden mit der Entfernung ihres Schwerpunktes von diesem Plan multiplicirt. Dividirt man dann die Summe dieser Produkte mit dem Inhalt des ganzen Körpers, so giebt der Quotient auf der Achse die Entfernung **PG** von diesem dritten Plan bis zum Schwerpunkte des unregelmäßigen Körpers.

Viertes Kapitel.

Von der geneigten Ebene.

Damit ein Körper vollkommen in Ruhe ist, muß die Ebene, auf welcher er liegt, senkrecht auf der Richtung der Schwere, d. h. horizontal oder wagerecht seyn, und die durch seinen Schwerpunkt gelegte Vertikale darf nicht außerhalb seiner Grundfläche fallen.

Sobald eine Ebene nicht mehr horizontal ist, hat der darauf gelegte Körper das Bestreben zu gleiten, zu rollen oder umzustürzen. —

Da die Oberflächen der Körper mehr oder weniger rauh sind, so fangen sie, wenn die Richtung des Schwerpunktes nicht außerhalb der Grundfläche fällt, nur an zu gleiten bei solchen Ebenen, deren Neigung der Unebenheit ihrer Oberfläche proportional ist.

Ein Würfel von einem harten und feinen Stein, wie der Baustein ist, dessen Flächen gut zugerichtet sind, fängt erst an zu gleiten auf einer Ebene, wenn diese ungefähr **30** Grad Neigung hat, und die polirten Marmorsteine auf einer Ebene, deren Neigung **15** Grad beträgt. —

Wenn ein Körper auf einer geneigten Ebene liegt und die Richtung seines Schwerpunktes fällt außerhalb der Basis, so stürzt er um, wenn er von Ebenen begränzt ist, und rollt, wenn die Oberfläche, mit welcher der Körper auf der Ebene liegt, gekrümmt ist.

Ein von Ebenen begränzter Körper wird, nachdem er einmal umgestürzt ist, in Ruhe bleiben, wenn die Fläche, auf welche er fällt, hinreichende Ausdehnung hat, damit die Richtung des Schwerpunktes nicht außerhalb fällt, und wenn die Neigung nicht groß genug für das Gleiten ist.

Die Körper mit gekrümmter Oberfläche können nur auf einer vollkommen horizontalen Ebene in Ruhe bleiben, weil die einen nur

mit einem Punkt aufliegen, wie die Kugeln, und die andern mit einer Linie, wie die Cylinder oder Kegel. Es muß demnach, damit sie in Ruhe bleiben, die von ihrem Schwerpunkte aus gefällte Vertikale durch den Berührungspunkt gehen und senkrecht auf der Ebene seyn. Wenn demnach die Ebene aufhört, horizontal zu seyn, so fällt die Richtung des Schwerpunktes außerhalb des Berührungspunktes, d. i. außerhalb des Punktes oder der Linie, welche diesen Körpern zur Basis dient. Alsdann drehen sich dieselben, und, wenn der Hang von einer gewissen Ausdehnung ist, rollen sie mit einer beschleunigten Geschwindigkeit fort, welche der gleich ist, die diese Körper haben würden, wenn sie in der Höhe der geneigten Ebene von dem Orte, wo sie ihre Bewegung anfingen, frei gefallen wären. —

Um die Kraft zu finden, welche nöthig ist, einen runden Körper auf einer geneigten Ebene in Ruhe zu erhalten, muß man den Berührungspunkt **F** (Figur **29** und **30**) als den Stützpunkt eines Winkelhebels betrachten, dessen Hebelsarme durch die Perpendikel ausgedrückt sind, welche man aus diesem Stützpunkt auf die Richtung der Kraft **CP** und der Schwere **CD** zieht. Dieses giebt für den Fall (Fig. **29**), wo die den Körper ziehende Kraft parallel mit der Ebene ist,

P : N = FD : FC,

und da das rechtwinklige Dreieck **CFD** immer ähnlich ist dem Dreieck **OSH**, welches die geneigte Ebene mit der Vertikalen **OS** und der Horizontalen **OH** bildet, so folgt daraus, daß man dieses Verhältniß auch so ausdrücken kann:

P : N = OS : SH.

In diesem ersten Fall, wenn Gleichgewicht stattfinden soll, muß sich also die Kraft zum Gewicht des Körpers verhalten, wie die Höhe **OS** der geneigten Ebene zu ihrer Länge **SH**.

In dem Fall, wo die Kraft horizontal ist (Figur **30**), hat man durch dieselben Betrachtungen:

P : N = FD : FA und
P : N = OS : OH

In diesem Fall muß sich also die Kraft zum Gewicht des Körpers verhalten, wie die Höhe **OS** der geneigten Ebene zu ihrer Grundlinie **OH**.

In dem ersten Fall ist der Druck des Körpers auf die Ebene durch **OH** ausgedrückt, in dem zweiten durch **SH**; man hat demnach

P : N : F = OS : SH : OH und
P : N : F = OS : OH : SH.

Es ist zu bemerken, daß in dem ersten Fall die Wirkung der Kraft, da sie mit der geneigten Ebene parallel ist, den Druck auf diese Ebene weder vermehrt noch vermindert. Dies ist der günstigste Fall, um einen Körper auf einer geneigten Ebene im Gleichgewicht zu erhalten.

In dem zweiten Fall, wo die Richtung der Kraft einen spitzen Winkel mit der Ebene bildet, vermehrt sie unnützerweise ihre Belastung.

Wenn die Richtung der Kraft mit der Neigung der Ebene einen stumpfen Winkel bildet, so trägt sie einen Theil des Gewichtes und vermindert die Belastung der Ebene; aber es erfordert eine größere Kraft. —

Die Kraft, welche nöthig ist, einen Körper mit ebener Grundfläche auf einer geneigten Ebene in Ruhe zu erhalten, hängt, wie wir schon angeführt haben (Seite **23**), von der Rauhigkeit der Flächen ab, sowohl der geneigten Ebene als auch der Grundfläche der Körper. Man kann dieses Verhältniß nur durch die Erfahrung finden.

Unter allen Mitteln, die ich zur Werthbestimmung dieses Widerstandes, unter dem Namen der Reibung bekannt, angewendet habe, ist das einfachste dasjenige, welches gegen einen Horizontalplan die Neigung der Ebene betrachtet, auf welcher ein Körper, dessen Richtung des Schwerpunktes nicht außerhalb der Basis geht, noch in Ruhe bleibt. Hieraus folgt, daß ein Körper, welcher erst zu gleiten anfängt auf einer Ebene, die mehr als **30** Grad Neigung hat, keine größere Kraft fürs Gleichgewicht bedarf, wenn er auf eine mit **45** Grad geneigte Ebene gelegt wird, als ein runder Körper vom nämlichen Gewicht für dasselbe auf einer mit **15** Grad geneigten Ebene. —

Alles was soeben über die Kraft gesagt worden ist, welche fürs Gleichgewicht eines Körpers auf einer geneigten Ebene nöthig ist, kann auf einen Körper angewendet werden, der von zwei geneigten Ebenen gehalten wird. Man betrachtet zu dem Ende die zweite Ebene als den Dienst der Kraft leistend, welche den Körper auf der ersten Ebene im Gleichgewicht erhält und nach einer auf die zweite Ebene senkrechten Richtung wirkt.

Wenn sich die Richtungen dreier Kräfte **GP**, **GQ** und **GR** in einem Punkt **G** vereinigen (**Figur 31**), so lehrt die Mechanik, daß im Falle des Gleichgewichts ihr Verhältniß durch die drei Seiten eines Dreiecks ausgedrückt wird, das man durch Perpendikel auf die Rich-

tungen der Kräfte bildet. Folglich, wenn man durch den Schwerpunkt G eines durch zwei geneigte Ebenen unterstützten Körpers eine Senkrechte auf die vertikale Richtung desselben zieht, so hat man für den Fall des Gleichgewichts die Proportion **P : Q : R = BA : BC : CA.**

Wenn man ferner erwägt, daß bei allen Arten von Dreiecken sich die Seiten wie die Sinusse der gegenüber liegenden Winkel verhalten, so hat man

P : Q : R = sin. BCA : sin. BAC : sin. ABC,

und da der Winkel **BCA** gleich ist dem Winkel **CAD** und **CBA = BAE,** so hat man ferner

P : Q : R = sin. CAD : sin. BAC : sin. BAE.

Hieraus folgt, daß das Gewicht des Körpers in demselben Verhältniß zum Sinus des Winkels steht, den die geneigten Ebenen einschließen, wie die Pressung auf eine jede dieser Ebenen zum Sinus des Neigungswinkels der andern Ebene.

Zweite Abtheilung.

Fortschaffung der Materialien.

Erstes Kapitel.

Von den Maschinen zum Fortschaffen der Lasten.

Der nächste Gebrauch, den wir von den soeben abgehandelten Lehrsätzen machen, besteht in der Anwendung auf das Bewegen der Baumaterialien. — Es ist nicht unsere Absicht, hier alle Fragen vollständig zu behandeln, deren Kenntniß nothwendig ist, um in den Stand gesetzt zu seyn, neue Maschinen zu erfinden oder die schon bestehenden zu vereinfachen, indem man das Verhältniß der Kräfte zu dem Gewicht der zu bewegenden Materialien sucht. Dieses würde uns zu weit von dem Ziele führen, das wir uns in diesen Werke vorgesetzt haben. Wir können nur zu dem Ende auf Werke der technischen und analytischen Mechanik verweisen, die bis jetzt erschienen sind [1]). — Wir beschränken uns, hier eine einfache und für Jedermann verständliche Theorie von dem Hebel, der Welle und den Rollen zu geben, da diese die einfachen Maschinen und die Elemente aller andern sind. Wir fügen hinzu einige Resultate unserer eigenen Erfahrung, die klare und genaue Beschreibung einiger Maschinen, welche am häufigsten bei dem Bauwesen gebraucht werden, und die Verfahrungsweise, welche von ältern und neuern Architekten in Fällen angewendet wird, wozu außerordentliche Hülfsmittel nöthig sind.

Erster Artikel. — Von dem Hebel.

Die einfachste Maschine zum Bewegen einer Last ist der Hebel. Die Wirkung, welche man mittelst desselben hervorbringen kann, ist

---

1) Christian, Borgnis, Poisson, Karl Düpin, Lantz de Betancourt ꝛc. — Deutsche: Eytelwein, Langsdorf, Poppe, Gerstner u. s. w.

der Entfernung der Kraft vom Stützpunkte direkt proportional und indirekt der Entfernung des Stützpunktes von dem Angriffspunkt des Hebels an der Last.

Bei der Betrachtung des Hebels in der ersten Abtheilung dieses Buches haben wir gezeigt, daß in dem Gleichgewichtszustand die Kraft sich zu der Last verhalten muß, wie umgekehrt ihre Abstände von dem Stützpunkt. Wenn man demnach in Figur **1**, Tafel **CLXVII**, wo man einen Hebel abgebildet sieht, dessen Stützpunkt **A** ist, **AC = 1**, **AB = 21** setzt, so wird die Kraftäußerung in **C** **21**mal größer seyn als die in dem Punkte **B**. Soll man einen Stein wie **CDEF** heben, dessen Gewicht **4200** Pfd. sey, so hat der Hebel, da der Stein stets in dem Punkt **F** aufliegt und sich also um denselben dreht, nur die Hälfte des Gewichtes, d. i. **2100**, zu heben.

Um die in **C** wirkende Last zu überwinden, bedarf man in **B** einer Kraft, die nur ein wenig mehr als **100** Pfd. beträgt, da **100** Pfd. für das Gleichgewicht hinreichend sind.

Man kann auch mittelst eines Hebels (Figur **2**) eine Last **P** bewegen, indem man ihn um seinen Stützpunkt **A** dreht, so daß auf der einen Seite der Punkt **C** einen Bogen beschreibt, von dem **AC** der Halbmesser ist, während die in **B** angebrachte Kraft einen andern von dem Halbmesser **AB** zurücklegt. In diesem Falle verhält sich die Kraft zur Last wie **CA** zu **AB**. Auf diese Weise wirken die Arme an der Welle (Figur **3**), um Bewegung hervorzubringen. An dieser Maschine verhält sich die Kraft zur Last, wie der Halbmesser der Welle **plus** der Hälfte der Seildicke zur Länge des Hebelarms, von dem Mittelpunkt der Welle bis zum Angriffspunkt der Kraft gerechnet. Nimmt man demnach eine Welle von **12** Zoll Durchmesser an, umwickelt mit einem Tau von **1** Zoll Dicke, so ist die Entfernung von dem Mittelpunkt der Welle bis zur Mitte des Taues **6 1/2** Zoll; nimmt man ferner an, daß der Ort am Hebebaum, wo die Kraft angebracht ist, **5** Fuß **5** Zoll Entfernung von der Mitte der Welle hat, so ist das Verhältniß der Kraft zur Last gleich wie **6 1/2** zu **65**, oder wie **1 : 10**; d. h. mit einem Gewicht von **100** Pfd hält man einer Last von **1000** Pfd. das Gleichgewicht.

Erwägt man nun noch, daß sich die Halbmesser wie die Bogen bei gleichen Winkeln verhalten, so erkennt man den allgemeinen Lehrsatz, den wir schon mehrmals angeführt haben, daß, abgesehen von der

Reibung bei jeder Art von Maschinen, die Kraft sich immer zu der Last oder zu der hervorgebrachten Wirkung verhält, wie umgekehrt die durchlaufenen Wege.

Zweiter Artikel. — Von den Winden.

Zur Bewegung von Lasten macht man noch von einer andern Maschine Gebrauch, die man Winde nennt. Die darin vertikal stehende Welle bewegt man durch Stangen oder Hebebäume in horizontaler Lage. Die Seeleute geben dieser Maschine, wenn sie fest ist, wie auf den Schiffen, den Namen Schiffswinde; ist sie beweglich, so heißt sie Erdwinde, wie man sie an den Häfen und bei Errichtung von Gebäuden hat.

Der Gebrauch dieser Maschine ist sehr alt. Es ist von ihr in den Aufgaben der Mechanik des Aristoteles und im Vitruv im **10**. Buch und **4**. Kapitel die Rede. Aristoteles bezeichnet sie durch das Wort *Συγον*, — im Französischen **joug** (Joch), ohne Zweifel wegen der Stangen, die dabei gebraucht werden; Vitruv nennt sie **Ergata**.

Die Italiener, welche die Winde **argano** nennen, gebrauchen sie häufig. Indem sie dieselbe mit Flaschen und festen Rollen (mit einem Flaschenzug) versehen, dient sie ihnen als Hebezeug, als Kreuzhaspel und als Krahn. Man hat sich dieser Maschine zum Heben und Bewegen der größten Lasten mit Erfolg bedient, wie der Obelisken zu Rom, Tafel **CLXX**; — des Felsens, welcher das Fußgestell der Bildsäule Peters des Großen zu St. Petersburg bildet, Tafel **CLXVIII** und **CLXVIII bis** [1]); — und des einen der großen Steine an dem Fronton der neuen St. Genoveva-Kirche zu Paris. [2])

Wenn man Maschinen nicht entbehren kann, so verdient die Erdwinde, um große Lasten zu heben, den Vor-

---

1) Die Beschreibung der bei der Errichtung mehrerer Obelisken und bei dem Transport des Felsens zu St. Petersburg angewendeten Mittel findet man am Ende dieses Buches unter den für die Tafeln beigefügten Noten.

2) Diese Steine wogen 53000 Pfd., ohne den Wagen, auf welchem sie gefahren wurden. Zum Transport eines dieser Blöcke vom Hafen des Hotels der Invaliden bis zur St. Genoveva gebrauchte man zwei Erdwinden, jede durch 8 Mann umgedreht, die sich von zwei zu zwei Stunden ablösten. Man bedurfte 11 Tage und 7 Nächte zum Zurücklegen dieser Entfernung, welche ungefähr 2600 Toisen (1 Toise = 6 franz. Fuß = ungefähr $2^1/_2$ Schr.) betrug, indem man dabei die Boulewards durchzog. Dieser Transport kostete,

zug, weil die dabei zu verwendenden Menschen keiner Gefahr ausgesetzt sind. Man kann bei den Erdwinden Menschen oder Pferde anwenden. Die von ihnen hervorgebrachte Kraft, wenn sie unmittelbar — ohne Flaschenzüge — verwendet werden, hängt von dem Verhältniß des Halbmessers der Welle zu der Länge der Hebebäume ab, — auch jeden Falls von dem Verhältniß des von der Last zurückgelegten Wegs zu dem von der Kraft zurückgelegten, wie wir es gelegentlich der Fortschaffung des Felsens von St. Petersburg erklären werden (Man sehe die für die Tafeln beigefügten Noten). —

Die Welle der bewegbaren Winden befindet sich in einer Holzverbindung, welche man Bock nennt, dessen Gestalt verschieden ist. Die gewöhnlichste ist die unter Figur **5** dargestellte.

Die Welle der gewöhnlichen Erdwinden ist cylindrisch. Das obere Ende bildet einen viereckigen Kopf, welcher mit zwei Löchern durchbrochen ist, die sich rechtwinklig durchkreuzen und über einander befinden. In diese Löcher steckt man die Hebebäume, an denen Menschen oder Pferde zum Umdrehen der Welle verwendet werden.

Will man viele Menschen bei einer Erdwinde anstellen, so macht man — anstatt den Kopf der Welle mit Löchern für die Hebebäume zu versehen — eine runde Scheibe mit einem viereckigen Loch in der Mitte und steckt dieses in den Kopf der Welle (Figur **14** und **15**). Diese Scheibe ist mit ebenso vielen Löchern versehen, als man Hebebäume anbringen will, z. B. **6** oder **8**. So waren die Erdwinden eingerichtet, deren man sich zum Fortbewegen des Felsens zu Petersburg bediente. Die Scheibe war mit Löchern für **8** Hebebäume versehen und an jedem waren zwei Menschen angestellt. Ich habe auch zu Rom von diesem Mittel Gebrauch machen gesehen bei den Erdwinden, deren man sich bei dem Drehen der Gruppen von Monte-Cavallo bediente, Tafel **CLXVIII bis** (Man sehe die für die Tafeln beigefügten Noten).

---

ohne die Baugeräthe und Nebenausgaben, 768 Livres (1 Liv. etwas mehr als 6 Gr.).

Der andere Block ist von demselben Ort aus und auf demselben Wagen in weniger als drei Stunden von einem Fuhrmann aus dem Gros-Caillou herbeigefahren worden. Er bedurfte zu diesem Transport 63 Pferde, zu drei neben einander gespannt, und 12 Fuhrleute. Es wurden ihm 425 Liv. bezahlt. — Dieses beweis't daß es oft vortheilhafter ist, eine hinreichende Kraft unmittelbar an die Last zu bringen, als sich der Maschinen — selbst der einfachsten — zu bedienen.

Der untere Theil der Welle der Erdwinden ist in dem Bock durch einen Zapfen befestigt, der in ein rundes Loch von demselben Durchmesser geht, das sich in einer auf den Schwellen des Bocks ruhenden Bohle befindet.

Der obere Theil der Welle wird gehalten durch eine andere Bohle mit einem halbkreisförmigen Ausschnitt, welcher der Welle in der Richtung widerstrebt, die der Kraftäußerung entgegengesetzt ist. —

Will man sich der Erdwinde zum Fortbringen einer Last bedienen, so fängt man damit an, den Bock an einen festen Punkt mittelst eines an seinen Füßen angebrachten mehrfachen Taues zu befestigen. Wenn sich kein fester Punkt in der Nähe befindet, so schlägt man statt desselben starke Pfähle in den Boden, wie man es in den Figuren **5**, **6**, **7**, **9**, **10**, **11** und **13** gezeichnet sieht. Man nimmt hierauf ein Kabeltau (Ankertau), dessen Dicke dem Gewicht der Last angemessen seyn muß, und, nachdem man es mehrmals um die Welle gewickelt hat, befestigt man eines der Ende an die Last und läßt das andere durch einen auf dem Boden sitzenden Mann anhalten. In dem Maß als die an den Hebebäumen der Winde angestellten Menschen die Welle drehen, wickelt sich der an der Last befestigte Theil des Kabeltaues auf, während der von dem sitzenden Mann gehaltene Theil sich abwickelt, so daß sich auf der Welle immer dieselbe Anzahl Umwickelungen befindet. Um dieses zu bewirken, setzt man den Arbeiter auf die Erde, welcher das Kabeltau so fest halten muß, daß es nicht gleitet. Die hierzu erforderliche Kraft ist nicht beträchtlich wegen der Reibung, die sich mit der Anzahl der Umwickelungen vermehrt. Wir werden sogleich nachher davon reden. —

Es ist eine wesentliche Bemerkung, daß der sich auf die Welle aufwickelnde Theil des Kabeltaus bei jeder Umwickelung um seine Dicke fortschreitet, so daß nach einer gewissen Anzahl von Umwickelungen des Taues kein Platz mehr zu weiterer Umwickelung vorhanden ist. Man ist alsdann genöthigt, die Winde anzuhalten und das Tau nachzulassen, um es an der Welle hinauf- oder herunterzuschieben, je nachdem das an der Last befestigte Tau-Ende unten oder oben ist, damit man für weitere Umwickelungen des Kabeltaus auf der Welle Platz macht. Dieses Verfahren, welches die Arbeiter Anstoßen (**choquer**) nennen, muß sehr oft wiederholt werden, wenn die Entfernung, auf welche man die Last fortzuschaffen hat, beträchtlich ist. Es ist selbst gefährlich, wenn sichs darum handelt, eine Last zu heben oder auf

einer geneigten Ebene fortzubewegen. Seit ungefähr einem Jahrhundert haben sich mehrere Mechaniker mit den Mitteln beschäftigt, diesem Uebelstand zu begegnen, und **1739** setzte die Akademie der Wissenschaften in Paris einen Preis über diesen Gegenstand aus. Unter den eingegangenen Schriften und Maschinen befanden sich sehr sinnreiche Mittel, die aber für den Gebrauch zu sehr zusammengesetzt waren.

Das einfachste Mittel ist, die Welle kegelförmig zu machen, wie ich es in Rom habe ausführen gesehen, indem man nach vorn zu eine in Zapfen laufende Walze oder eine Rolle anbringt, welche den an die Last befestigten Tauzweig immer in derselben Höhe erhält Hierdurch treibt die sich unten bildende Umwickelung, da sie am meisten angeschlossen ist, die oberen Umwickelungen, welche es weniger sind, in die Höhe — mit um so größerer Leichtigkeit, je mehr sich die Dicke nach oben vermindert, so daß sich das Kabeltau auf- und abwickelt, ohne anhalten zu müssen. Diese Anordnung ist durch die Figuren **6** und **7** angezeigt. —

Die Figuren **8**, **9** und **10** zeigen ein anderes Mittel, das von H. Cardinot, Ingenieur-Geograph, erfunden worden ist und welches ihm eine Belohnung der Nation im Jahre **2** (**1794**) in Folge eines Berichts erwarb, der im Bureau der Berathschlagung über die Künste und Gewerbe von den Herren Borda und Lagrange abgestattet wurde.

Diese Erdwinde besteht aus zwei Wellen, wovon die eine Hauptwelle, mit **A** bezeichnet, einen Kopf mit Löchern zum Einstecken der Hebebäume hat, mit welchen man die Welle umdreht. Die andere Welle, welche denselben Durchmesser hat, befindet sich vorwärts, d. h. nach der Seite der zu bewegenden Last hin. Zwischen diesen Wellen sind zwei Druckspiele von Kupfer, welche in einer und derselben Achse befestigt sind und mit vorstehenden Rändern oder erhabenen Ringen zusammentreffen, die an jeder Welle eine Kehle zur Aufnahme des Kabeltaus bilden. Es folgt aus dieser Einrichtung, daß die Wellen, welche durch die Tauumwickelungen an einander geschlossen werden, genöthigt sind, sich zusammen mit den sie vereinigenden Druckspielen zu drehen.

Es ist zu bemerken, daß die Kehle der Hauptwelle **A** um zwei Taudicken größer ist als die der Welle **B**, so daß die Ränder **C** um eine Taudicke breiter sind als die **M** der Welle **A**. Es folgt daraus, daß die erste Umwickelung des Kabeltaus auf der Welle sich um seine Dicke erhebt, um über die Welle **B** zu gehen, indem es eine etwas

chiefe Richtung annimmt. Beim Zurückgehen legt es sich natürlich auf die erste Umwickelung der Welle und hat dabei eine horizontale Richtung; von da aus erhebt es sich wieder um seine Dicke, um wieder über die Welle **B** zu gehen und legt sich dann auf die zweite Umwickelung der Welle **A**, u. s. f. Hiernach ist auf der einen Seite die Richtung der Umwickelungen etwas schief und auf der andern Seite ist sie horizontal, so daß sich das Kabeltau auf- und abwickelt ohne Unterbrechung, und, da es seine Stelle nicht verändert, ist es nicht nöthig anzuhalten. Man könnte die kupfernen Druckscheiben entbehren, weil der Druck des Kabeltaus, welches die beiden Wellen umgiebt, mehr als hinreichend ist zum Drehen derselben. Dieses würde die Einrichtung, deren Erfindung recht sinnreich ist, sehr vereinfachen. —

Die Erdwinde, welche in den Figuren **11**, **12** und **13** dargestellt ist, besteht auch aus zwei Wellen, in welchen man Kehlen oder Rinnen horizontal ausgehöhlt hat, damit jede Seilumwickelung getrennt liegt.

Man bemerke, daß die erste Rinne der Hülfswelle um die Dicke des Taues höher ist als die erste der Hauptwelle. Die andern Rinnen sind in beiden Wellen gleichweit von einander. Diese Einrichtung bewirkt dasselbe wie die der vorhergegangenen Wellen. Da indessen bei dieser letztern Erdwinde die Seile sich kreuzen, indem sie von einer Welle zur andern gehen, bedarf man einer größeren Kraft zu ihrer Bewegung.

Von der Reibung der Seile, welche Wellen oder Cylinder umgeben.

Da es die Reibung ist, welche gestattet, daß ein einziger Mann beim Gebrauch der Erdwinde der Kraftäußerung einer beträchtlichen Last das Gleichgewicht hält, so wollen wir untersuchen, bis zu welchem Grade man darauf rechnen kann.

In mehreren Abhandlungen über die Mechanik — und besonders in der ersten Abtheilung der Wasserbaukunst von Belidor (**Architecture hydraulique**), **1**. Band, Seite **3** — wird gezeigt, daß, wenn man Gewichte an die Enden eines Seiles hängt, das einen Cylinder in seiner halben Peripherie umgiebt, sich die Summe dieser Gewichte zum Druck auf den Cylinder verhält, wie der Halbmesser zum halben Umfang, d. i. beinahe wie **7** zu **11**.

Da nun die Reibung dem Druck proportional ist, so kann man folglich, wenn man auf der einen Seite statt des Gewichtes eine Kraft

setzt, vermittelst dieses Drucks erkennen, um wie viel die Kraftäußerung im Verhältniß zum Gewicht durch die Reibung vermindert werden kann. Da sich aber die Reibung verändert, je nachdem die Oberflächen mehr oder weniger glatt sind, so ist es nur die Erfahrung, welche ihr Verhältniß zum Normaldruck in jedem Fall zu bestimmen vermag. Diese Erfahrung besteht darin, an die beiden Enden eines Seiles, das dem zu verwendenden ähnlich ist und über einen Cylinder von einerlei Material und von einerlei Durchmesser geht, zwei gleiche Gewichte zu hängen und eins derselben zu vergrößern, bis das andere zu steigen anfängt. Das zugefügte Gewicht drückt die Größe der Reibung aus bei einem halben Umgang des Seils.

Wenn die zum Heben des ersten Gewichts nöthige Kraft bekannt ist, so dividirt man sie durch das Doppelte dieses Gewichtes. Mit diesem Quotienten muß man das letzte Resultat jedesmal multipliciren, um das zu erhalten, welches ein halber Umgang mehr nöthig macht. Die Herrn Gautier und Belidor und diejenigen, welche ihre Methode angenommen haben, halten dafür, daß das Gewicht und die Kraft, welche man zum Heben desselben bei dem ersten halben Umgang bedarf, die zwei ersten Glieder einer geometrischen Progression sind. Aber die Erfahrung lehrt, daß sich die Reibung nicht in einem so großen Verhältniß vermehrt und daß das erste Glied dieser Reihe das Doppelte dieses Gewichtes seyn muß, wie man es in der nachstehenden Tabelle sehen kann, wo man die Resultate beider Methoden mit denen der Versuche zur Vergleichung zusammengestellt hat. Diese Erfahrungen sind mit einem Cylinder von Eschenholz von **50 1/2** Linien Durchmesser und mit einem Seil von **2** Linien Dicke gemacht worden. An einem der Enden dieses Seiles, welches einen halben Umgang auf den Cylinder machte, habe ich ein Gewicht von **2** Pfd. aufgehängt, und an das andere Ende eine Wagschale, welche mit dem Darinbefindlichen ebenso viel wog. Um das Gewicht von **2** Pfd zum Beginnen des Aufsteigens zu bringen, mußte man weiter in die Schale **4** Pfd. **2** Unz. **4 1/2** Quentchen oder **4,16** Pfd legen, so daß die Größe der Kraft **6,16** Pfd. betrug.

Diese Größe durch **4** dividirt, welches das Doppelte des Gewichts ist, und mit diesem Quotienten **1,54** die Resultate jedes halben Umgangs multiplicirt; so habe ich für den zweiten halben Umgang **9,49** gefunden; für den dritten **14,61** — statt **57,68**, welche die Methode der Herrn Gautier und Belidor gab – , und nach der Erfahrung **14,51**.

Tabelle,

welche für jeden halben Umgang die Vermehrung der Kraft angiebt.

Zum Heben eines Gewichtes von 2 Pfund.	Vorgeschlagene Methode.	Methode der Herren Gautier und Belidor.	Versuche.
Bei einem halben Umgang	6,16	6,16	6,16
„ einem ganzen „ „	9,49	18,85	
„ ein und ein halb „ „	14.61	57,68	14,51
„ zwei Umgängen	22,50	176,50	
„ zwei und ein halb Umgängen . .	34,65	540,10	34,69
„ drei Umgängen	53,36	1652,70	
„ drei und ein halb Umgängen . .	82,17	5057,26	83,00
„ vier Umgängen	126,54	15475,21	
„ vier und ein halb Umgängen . .	194,87	47354,14	198,00

Andere Erfahrungen, welche auf einer Welle von 1 Fuß Durchmesser mit einem Seil von 6 Linien Dicke und einem Gewicht von 6 Pfund gemacht wurden, ergaben:

bei einem halben Umgang	36	36	36
„ einem ganzen „ „	108	216	
„ ein und ein halb Umgang . .	324	1296	334
„ zwei Umgängen	972	7776	

Nach andern Erfahrungen, welche auf derselben Welle mit einem Seil von 1 Zoll Dicke und einem Gewicht von 7 Pfd. gemacht wurden:

bei einem halben Umgang	44	44	44
„ einem ganzen „ „	138 2/7	282 1/7	
„ ein und ein halb Umgang . .	435	1776	442
„ zwei Umgängen	1367	11163	

Wenn man von dickern Seilen Gebrauch macht, so muß man den Durchmesser der Welle verhältnißmäßig vergrößern wegen der Steifheit der Seile, welche bei Seilen von gleicher Art im Quadrat ihrer Durchmesser zunimmt. Wenn man demnach bei einem Seil von 12 Linien Dicke eine Welle von 1 Fuß bedürfte, so hätte man bei einem Seil von 15 Linien eine Welle von 18 Zoll 9 Linien Durchmesser nöthig,

bei einem von 18 Linien eine Welle von 27 Zoll 0 Linien

bei einem von **21** Linien eine Welle von **36** Zoll **9** Linien,
„ „ „ **24** „ „ „ „ **48** „ **0** „
„ „ „ **27** „ „ „ „ **60** „ **9** „
um den Einfluß der Steifheit der Seile auf die Kraft, welche sie auf diesen Wellen umgebogen hält, zu vermeiden. —

Ich habe gefunden, daß man — um Seile über eine Welle von **12** Zoll Durchmesser zu biegen, so daß sie genau den halben Umfang der Welle umfassen und eines der Ende senkrecht festgehalten ist — an das andere Ende hängen muß für Seile

von	**12**	Linien	ein	Gewicht	v.	**45**	Pfd.,	nach	der	Theorie	von **48** Pfd.
„	**15**	„	„	„	„	**74**	„	„	„	„	„ **75** „
„	**18**	„	„	„	„	**112**	„	„	„	„	„ **108** „
„	**21**	„	„	„	„	**154**	„	„	„	„	„ **147** „
„	**24**	„	„	„	„	**196**	„	„	„	„	„ **192** „
„	**27**	„	„	„	„	**250**	„	„	„	„	„ **243** „

Diese Gewichte lehren die Kräfte kennen, welche beim Gebrauch der Erdwinde zum Zurückhalten und Abwickeln des Taus nöthig sind, damit man eine seiner Dicke verhältnißmäßige Reibung zum Entgegenwirken der Last hat. [1])

Wenn man ein Gewicht von **100** Pfd. an eins der Enden des **27** Linien dicken Kabeltaus, das oben einen halben Umgang auf einer Welle von **12** Zoll Durchmesser machte, befestigt hat, so bedarf man zum Beginn des Erhebens ein Gewicht von **367** Pfd., welches $3^{2}/_{3}$ mal jenes Gewicht von **100** Pfd. ist. Da aber dieses Kabeltau jetzt nur $^{2}/_{3}$ des halben Umfangs berührte, so war die Reibung nicht so beträchtlich, als sie hätte seyn müssen. Dagegen ein Gewicht von **250** Pfd., bei welchem sich das Tau in dem ganzen halben Umfang anschließt, bedarf mehr als **1800** Pfd. zum Erheben, also mehr als das **7** fache jenes Gewichts.

Dritter Artikel. — Von den Rollen und Flaschen.

Die Maschinen, deren man sich bei dem Bauwesen bedient, wirken gewöhnlich mit Seilen und Rollen und sind so zusammengesetzt, daß sie die Bewegung erleichtern, indem sie die Wirkung der Kraft vergrößern.

---

1) Die zweite vertikale Reihe enthält die Gewichte nach den Quadraten der Durchmesser der Seile.

Man zeigt in der Mechanik, daß die Kraft, welche zur Bewegung einer Last nöthig ist, zu dieser Last im umgekehrten Verhältniß der Wege steht, die in gleicher Zeit von Kraft und Last zurückgelegt werden. Demnach kann eine Kraft eine doppelte, eine dreifache, vierfache u. s. w. Last bewegen, indem diese nur die Hälfte, den dritten, vierten u. s. w. Theil des Wegs zurücklegt, den jene macht. Es folgt auch daraus, daß zur Bewegung einer Last, die zwei-, drei-, vier- u. s. w. mal so groß ist als die Kraft, zwe-, drei-, vier-, u. s. w. mal viel Zeit nöthig ist; d. h., daß man an Zeit verliert, was man an Kraft gewinnt, unabhängig von der Reibung, welche durch die Zusammensetzung zur Hervorbringung einer größern Wirkung veranlaßt wird.

Es ist bekannt, daß die Rollen cylindrische Körper von geringer Höhe sind, entweder von Holz oder von Metall, mit einer Hohlkehle auf dem Umfang zum Aufnehmen des Seils, und mit einer eisernen Achse, in welche sie gesteckt sind, um sie mittelst des Seils zu drehen, welches einen Theil ihres Umfangs umgiebt.

Eine einzige feste Rolle kann die Wirkung der Last im Verhältniß zu der sie bewegenden Kraft nicht vermindern, denn diese ist genöthigt, einen Weg zu durchlaufen, welcher dem von der Last durchlaufenen gleich ist. Man kann sogar sagen, da es keine Maschine ohne Reibung giebt, daß man zur Bewegung einer Last vermittelst einer festen Rolle eine noch etwas größere Kraft bedarf, als wenn jenes unmittelbar geschähe.

Da man aber nicht immer an eine Last eine Kraft nach der Richtung anbringen kann, welcher jene folgen soll, so sind Rollen nöthig, um der Kraft die Richtung zu geben, welche man will und welche oft derjenigen der Last entgegengesetzt ist, wie bei den Hebezeugen und Krahnen. —

Wenn die Rollen, deren man sich zum Heben einer Last bedient nicht in einem Punkt festgehalten sind, d. h. wenn die an die Last befestigten Rollen der Bewegung jener folgen, wie in den Figuren **1**, **2**, **3**, **4** und **5**, Tafel **CLXXI**, so ist, da die Kraft einen doppelt so großen Weg als die Last zurücklegen muß, jene ein wenig größer als die Hälfte von dieser. Demnach ist die Kraft **P** (Figur **1**), die über der Rolle **A** angebracht ist, ein wenig größer als die Hälfte des Gewichts, und die andere Hälfte wird durch das in **E** befestigte Seil gehalten. Ebenso ist die Kraft **Q**, welche über der Rolle **B** angebracht ist, nur

mit ein wenig mehr als der Hälfte der Kraft **P** thätig, und die andere Hälfte wird durch das zweite in **F** befestigte Seil gehalten.

Ebenso ist auch die Kraft **R**, über der Rolle **C** angebracht, nur mit der Hälfte der Kraft **Q** thätig, und die andere Hälfte wird durch das dritte in **G** befestigte Seil gehalten. Was die Rolle **D** betrifft, welche fest ist, so muß die nach unten zu angebrachte Kraft **S** mit einer Größe wirken, welche ein wenig größer ist, als die der Kraft **R**; denn da das vierte Seil **H** nicht befestigt ist, so hält die Kraft **S** allein der ganzen Thätigkeit der Kraft **R** das Gleichgewicht. Diese Verbindung der Rollen ist die vortheilhafteste für die Kraft, aber sie hat einen Nachtheil, der sie wenig anwendbar macht. Dieser Nachtheil ist, daß man z. B. bei drei beweglichen Rollen für die feste Rolle **D** eine Höhe nöthig hat, die achtmal größer ist als die, auf welche man die Last heben will. Um demnach eine Last auf **50** Fuß Höhe zu bringen, müßte die Rolle **D** auf mehr als **400** Fuß Höhe angebracht seyn. Die Seile **G**, **R** und **S** müßten mehr als **800** Fuß und jedes der beiden andern mehr als **400** Fuß lang seyn, welches eine Seillänge von mehr als **1600** Fuß giebt. —

Der Flaschenzug, welcher in den Figuren **2** und **3** von vorn und von der Seite dargestellt ist und aus zwei Flaschen jede mit drei Rollen besteht, ist der am häufigsten gebräuchliche. Abgesehen von der Achsenreibung der Rollen, so kann man vermittelst dieses Flaschenzugs eine Last bewegen, die sechsmal größer ist als die Kraft, denn diese durchläuft einen sechsmal größern Weg als jene; jedoch bedarf man zur Hervorbringung dieser Wirkung, wenn die Last einen Weg von **50** Fuß machen soll, eine Seillänge von mehr als **300** Fuß.

Wenn man aber Rücksicht auf die Reibung nimmt, so findet man, daß die Kraft — statt $^1/_6$ der Last zu seyn — nahe die Hälfte derselben betragen muß. Ich habe durch die Erfahrung gefunden, daß mittelst eines Flaschenzugs von zwei eisernen Flaschen jede mit drei kupfernen Rollen, deren Durchmesser **6**, **4** und **2** Zoll und Achsendurchmesser $10^3/_4$, $9^3/_4$ und $8^3/_4$ Linien waren, zum Bewegen einer Last von **107** Pfd. ein Gewicht von **50** Pfd. erforderlich war. Da dieser Flaschenzug sechs Seile hatte, ohne das zum Ziehen bestimmte, so hätte die Größe der Kraft $\frac{107}{6} = 17^5/_6$, statt **50**, seyn müssen; demnach betrug der Widerstand durch die Reibung $32^1/_6$.

Nach den in den Lehrbüchern der Mechanik entwickelten Lehrsätzen verhält sich die Reibung zum Gewicht, wie die Summe der Durchmesser der Achsen zu der der Rollen. Man findet demnach, daß bei der obern Flasche, da die Summe der Durchmesser der Achsen **29** $^1/_4$ Linien und die der Durchmesser der Rollen **144** Linien beträgt, das Verhältniß sehr nahe wie **1** zu **5** ist, d. h. daß die Reibung $^1/_5$ des Gewichtes der Last ist. Bei der untern Flasche, an welcher die Last hängt und welche sich mit ihr bewegt, ist die Reibung nur halb so groß wie vorhin, d. h. $^1/_{10}$. Die Reibung ist also bei den sechs Rollen $^3/_{10}$ der Last. Da diese **107** Pfd. beträgt, so machen $^3/_{10}$ davon gleich **32** $^1/_{10}$, d. i. $^1/_{15}$ Pfd. oder etwas über **1** Unze weniger als nach der Erfahrung. Dieses beweist die Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung, wenn die Anwendung gehörig gemacht wird. —

Der Flaschenzug, welcher durch die Figuren **4** und **5** dargestellt und das Dreifache des vorhergegangenen ist und aus zwei Flaschen — jede mit **9** Rollen besteht, ist — wegen der Reibung und der vielen bei seinem Gebrauch erforderlichen Seile — nicht so vortheilhaft, als es scheint. Wenn man von der Reibung absieht, so findet man, daß eine Kraft vermittelst dieses Flaschenzugs eine Last, die **18** mal größer als die Kraft ist, bewegen könnte, daß sie aber auch einen **18** mal größern Weg zurücklegen müßte. Hiernach bedürfte man zum Bewegen der Last auf **50** Fuß Länge eine Seillänge von **900** Fuß, was sehr beschwerlich ist.

Wenn man Rücksicht auf die Reibung nimmt, so muß man wie beim vorhergegangenen Beispiel das Verhältniß der Summe der Durchmesser der Achsen und der Rollen suchen. Nehmen wir den Durchmesser der großen Rollen zu **9** Zoll und den ihrer Achse zu **10** Linien, den Durchmesser der mittlern Rollen zu **6** Zoll und den ihrer Achse zu **9** Linien, den Durchmesser der kleinen zu **3** Zoll und den ihrer Achse zu **8** Linien, so hat man bei der obern Flasche:

die Summe d. Achsendurchm.	der	großen	Rollen	**10** . **3** =	**30**	Lin.
„ „ „ „	„	mittlern	„	**9** . **3** =	**27**	„
„ „ „ „	„	kleinen	„	**8** . **3** =	**24**	„
			Zusammen . . .		**81**	Lin.;
die Summe der Durchmesser	der	großen	Rollen	**108** . **3** =	**324**	Lin.
„ „ „ „	„	mittlern	„	**72** . **3** =	**216**	„
„ „ „ „	„	kleinen	„	**36** . **3** =	**108**	„
			Zusammen . . .		**648**	Lin.

Demnach ist das Verhältniß $^{81}/_{648} = {}^{1}/_{8}$, welches die Reibung bei der obern Flasche angiebt. Da die der **9** Rollen der untern Flasche die Hälfte ist, so wird dieselbe durch $^{1}/_{16}$ ausgedrückt. Vereinigt man diese beiden Verhältnisse, so hat man für die Reibung der **18** Rollen gleich $^{3}/_{16}$, wozu man noch $^{1}/_{18}$ für die Größe der Kraft, unabhängig von der Reibung, rechnen muß, und man hat $^{70}/_{288}$, welches sich auf $^{35}/_{144}$ reduzirt. Um demnach eine Last von **1440** Pfd. zu bewegen, hat man eine Kraft von **350** Pfd. nöthig — statt **80** Pfd. ohne Rücksicht auf die Reibung, woraus **270** Pfd. für die Reibung folgen, so daß die Kraft — statt der achtzehnte Theil zu seyn — nahe der vierte Theil ist.

Die Erfahrung giebt die Reibung noch größer an, besonders wenn man nur ein einziges Seil zum Ziehen hat. Giebt es deren zwei, so ist sie etwas geringer, bei drei Seilen, d. i. eins für jede obere Rolle, ist sie noch geringer und beinahe nicht verschieden von dem, was die Rechnung giebt. —

Der Flaschenzug, welcher aus Flaschen von zwei Rollen besteht, wie sie die Figuren **6**, **7** und **8** zeigen, bietet den Vortheil dar, die Last mit der Hälfte ihres Gewichtes zu bewegen. — Nimmt man an, daß Rollen und Achsen sind wie die großen und mittlern des vorhergegangenen Flaschenzugs, so ist die Summe der Achsen gleich **19** Linien und die der Durchmesser der Rollen **170** Linien, woraus für die Reibung der Rollen der oberen Flasche folgt $^{19}/_{170}$, für die der untern Flasche $^{19}/_{340}$ und für beide also $^{57}/_{340}$, wozu man noch $^{1}/_{3}$ für die Größe der Kraft, unabhängig von der Reibung, rechnen muß, und man hat demnach $^{170}/_{340}$, welches sich auf $^{1}/_{2}$ reduzirt. Demnach leisten zwei Flaschenzüge von dieser Art, die an eine Last gebracht sind, in einer Stunde Zeit mit **8** Rollen so viel, als der vorhergegangene Flaschenzug mit **18** Rollen in drei Stunden Zeit und mit dreimal so viel Seilen. —

Die Figuren **9** und **10** zeigen einen Flaschenzug, der aus zwei eisernen Flaschen besteht. Die obere Flasche ist mit **4** kupfernen Rollen versehen, die **4** Zoll Durchmesser haben und sich in einer und derselben Achse von **9** Linien Dicke befinden. Die untere Flasche enthält drei Rollen von derselben Materie und demselben Durchmesser, ebenfalls in einen Bölzen von **9** Linien Dicke gesteckt.

Wenn man die Rechnung bei diesem Flaschenzuge zur Bestimmung der Reibung anwendet, so findet man für die obere feste Flasche das

Verhältniß der Achsen zu den Rollen wie $\frac{9 \cdot 4}{48 \cdot 4}$, welches sich auf $^3/_{16}$ reduzirt; und für die untere $= \frac{9 \cdot 3}{48 \cdot 3}$, welche ebenfalls $^3/_{16}$ ist. Nimmt man hiervon, da diese Flasche beweglich ist, die Hälfte, so hat man für die Reibung der Rollen der beiden Flaschen $^3/_{16} + {}^3/_{32} = {}^9/_{32}$, und hierzu noch $^1/_6$ für die Größe der Kraft, unabhängig von der Reibung, so hat man $^9/_{32} + {}^1/_6 = {}^{27}/_{96} + {}^{16}/_{96} = {}^{43}/_{96}$. — Zur Prüfung des Resultats dieser Rechnung hing ich an die untere Flasche eine Last, welche mit dieser **146** Pfund wog. Man mußte zum Heben dieser Last an die beiden vereinigten Seile, welche den Flaschenzug bewegen, ein Gewicht von **65** $^1/_2$ Pfd. hängen.

Wir haben durch die vorhergegangene Rechnung gefunden, daß die Kraft $^{43}/_{96}$ der Last seyn müßte. Multiplicirt man demnach diese Last, welche **146** Pfd. ist, mit dem Bruch $^{43}/_{96}$, so findet man **65** $^8/_{96}$ oder **65** $^1/_{12}$ Pfd., welches nur um $^1/_{12}$ Pfd. oder **7** Unzen ungefähr von der Erfahrung abweicht. —

Die andern Flaschenzüge, in den Figuren **11**, **12**, **13**, **14**, **15**, **16** und **17** dargestellt, sind von gleicher Art wie die vorhergegangenen. Ihre Kraft bestimmt sich auf dieselbe Weise.

Die Figur **18** zeigt eine Verbindung von Rollen von gleichem Durchmesser, die man mit Vortheil zum Aufziehen der Lasten von gewisser Länge gebrauchen kann. Auf diese Art waren die Flaschenzüge zusammengesetzt, deren man sich zum Aufziehen der großen Steine des Frontons am Louvre bediente, Tafel **CLXIX** (Man sehe die für die Tafeln beigefügten Noten).

Bemerkung.

Da die Reibung abhängt von dem Verhältniß der Achsendicke der Rollen zu dem Durchmesser derselben, so wird folglich die Reibung kleiner, wenn die Achse dünner wird. Bedenkt man ferner, daß aber die Achse einer Rolle der Wirkung der Last und Kraft ohne Biegen Widerstand leisten muß, so hat man vor Allem ihre Dicke zu bestimmen. Nimmt man hierauf diese Dicke zur Einheit an, so kann man die Maße der Rollen und ihrer Flaschen sicher angeben.

Man hat bemerkt, daß die zu dünnen Rollen nicht genug Stetigkeit haben, d. i. daß sie sich nicht leicht in der Richtung der sie um-

gebenden Seile halten. Viele Erfahrungen darin haben mich gelehrt, daß das vortheilhafteste Verhältniß des Durchmessers der Rollen zu ihrer Dicke = $^1/_5$ ist. Wenn demnach eine Rolle **25** Zoll Durchmesser hat, so muß ihre Dicke **5** Zoll betragen.

Die von **20** Zoll hat **4** Zoll Dicke
„ „ **15** „ „ **3** „ „
„ „ **10** „ „ **2** „ „
„ „ **5** „ „ **1** „ „

Wenn man dem Bolzen den zwölften Theil des Durchmessers zur Dicke giebt, welches das schicklichste Verhältniß ist, so hat dieser Bolzen ebenso viel Linien zur Dicke, als die Rolle Zolle zum Durchmesser. Demnach hat eine Rolle von **25** Zoll Durchmesser einen Bolzen von **25** Linien Dicke, eine Rolle von **20** Zoll einen Bolzen von **20** Linien u. s. w.

Da man für die Rollen einen kleinen Spielraum nöthig hat, damit sie sich in ihrer Flasche frei drehen können, so ist es passend, $^1/_6$ der Rollendicke zuzufügen, um die Länge des Bolzens im Innern und die Weite der Flasche im Lichten zu erhalten. Demnach ist für eine Rolle von **25** Zoll Durchmesser, und da ihre Dicke **5** Zoll beträgt, die Länge des Bolzens **5** Zoll **10** Linien; für eine Rolle von **20** Zoll ist dieselbe **4** Zoll **8** Linien u. s. w., indem man $^1/_6$ der Rollendicke zufügt, d. i. **2** Linien auf **1** Zoll.

Beim Bauwesen ist der kleinste Rollendurchmesser **5** Zoll mit einem Bolzen von **5** Linien Dicke, bei welchem man eine Traglast von **1000** Pfd. anbringen kann, ohne daß er sich biegt.

Nach diesen Grundsätzen kann man alle Maße an den Rollen und ihren Flaschen bestimmen, so wie auch die Belastungen der Bolzen, welche sich verhalten wie die Quadrate der Durchmesser der Achsen. Weiß man z. B., daß die Belastung eines Bolzens von **5** Linien **1000** Pfd. seyn kann, und man will die eines Bolzens von **6** Linien wissen, so bildet man die Proportion: **25**, welches das Quadrat von **5** ist, verhält sich zu **1000**, gleich wie **36**, d. i. das Quadrat von **6**, zum vierten Glied, welches man **1440** findet. Ebenso bei andern.

Man hat in der nachfolgenden Tabelle die Maße bei den Rollen von **5** bis zu **25** Zoll Durchmesser zusammengestellt:

Durchmesser der Rollen in Zoll.	Dicke der Rollen in Zoll	Weite der Flaschen im Lichten in Zoll.	Dicke der Bolzen in Linien.	Belastung, welche sie tragen können, in Pfd.
5	1	$1\frac{1}{6}$	5	1000
6	$1\frac{1}{5}$	$1\frac{12}{30}$	6	1440
7	$1\frac{2}{5}$	$1\frac{19}{30}$	7	1960
8	$1\frac{3}{5}$	$1\frac{26}{30}$	8	2560
9	$1\frac{4}{5}$	$2\frac{3}{30}$	9	3240
10	2	$2\frac{1}{3}$	10	4000
11	$2\frac{1}{5}$	$2\frac{17}{30}$	11	4840
12	$2\frac{2}{5}$	$2\frac{24}{30}$	12	5760
13	$2\frac{3}{5}$	$3\frac{1}{30}$	13	6760
14	$2\frac{4}{5}$	$3\frac{4}{30}$	14	7840
15	3	$3\frac{1}{2}$	15	9000
16	$3\frac{1}{5}$	$3\frac{22}{30}$	16	10240
17	$3\frac{2}{5}$	$3\frac{29}{30}$	17	11560
18	$3\frac{3}{5}$	$4\frac{6}{30}$	18	13360
19	$3\frac{4}{5}$	$4\frac{13}{30}$	19	14440
20	4	$4\frac{2}{3}$	20	16000
21	$4\frac{1}{5}$	$4\frac{27}{30}$	21	17640
22	$4\frac{2}{5}$	$5\frac{4}{30}$	22	19360
23	$4\frac{3}{5}$	$5\frac{11}{30}$	23	21160
24	$4\frac{4}{5}$	$5\frac{18}{30}$	24	23040
25	5	$5\frac{5}{6}$	25	25000

Die in der vorstehenden Tabelle befindlichen Maße vorausgesetzt, so vermehrt die Reibung bei einer festen Rolle — oben an einem Hebezeug oder an einem Krahn oder auf eine andere Art angebracht, um die Richtung der auf eine Last wirkenden Kraft zu verändern — die Größe der Kraft um $\frac{1}{12}$, d. h. bei einer Last von **2400** Pfd. bedarf man eine Kraftäußerung von **2600** Pfd.

Wenn das über eine Rolle gehende Seil vermittelst einer Welle angezogen wird, so vermehrt die Reibung an derselben die Kraft um $\frac{1}{6}$, und dieses zu $\frac{1}{12}$ — der Vermehrung durch die Rolle — gesetzt, giebt $\frac{1}{4}$ der Last als Vermehrung der Kraft. Da diese aber an dem Ende eines Hebebaums oder an einem Halbmesser, der **10** mal so groß als der Halbmesser der Welle ist, thätig seyn kann, so ist die Kraftäußerung $\frac{2400 + 600}{10}$, woraus sich **300** Pfd. ergeben.

Wenn man eine zweite Rolle hinzufügt, welche sich mit der Last an einem doppelten Tau bewegt, so ist die Reibung dieser beweglichen Rolle $^1/_{24}$, wonach die ganze Reibung $^7/_{24}$ beträgt; aber die Kraft wirkt nur auf die Hälfte der Last, und man hat demnach $\frac{2400+700}{10 \cdot 2}$, woraus sich ergiebt **155**. Nimmt man jedoch Rücksicht auf die Zeit bei dieser letztern Einrichtung, so muß sie doppelt so groß seyn. Es sey in dem erstern Fall die Zeit durch **10** ausgedrückt, so hat man zum Resultat **300 . 10 = 3000**, und in dem zweiten Fall **155 . 20 = 3100**, welches um $^1/_{30}$ größer ist als das erste. — Hätte man die Last unmittelbar — ohne Hülfe von Rollen und Welle — gehoben, so würde man eine Kraft gleich der Last nöthig gehabt haben, nämlich **2400**; da aber die Zeit im Verhältniß zu der, welche die andern Mittel erfordern, nur **1** ist, so wäre das Resultat **2400** statt **3000** und **3100** gewesen. Dieses beweis't, daß es am vortheilhaftesten ist, an die Last eine dieser gleiche Kraft anzubringen, wenn es möglich ist. In allen andern Fällen muß man die am wenigsten zusammengesetzte Maschine vorziehen, vorzüglich bei Unternehmungen in der Baukunst.

Vierter Artikel. — Von den Seilen in Bezug auf ihre Anfertigung.

Die Seile bestehen aus Fäden, deren Dicke oder Durchmesser von $^1/_2$ bis $2^1/_2$ Linien beträgt.

Am einfachsten und dünnsten sind die sogenannten Bindfaden, welche aus zwei dünnen vereinigten Fäden bestehen.

Das aus drei vereinigten Fäden bestehende Seil nennt man in der Schiffssprache Marlein (**merlin**), oder gewöhnlich Leine (**ligne**).

Das Vereinigen der Fäden nennt man Zusammendrehen. Man sagt demnach: eine Leine ist dreidrähtig.

Zur Anfertigung dickerer Seile nimmt man — statt eines einzigen Fadens — mehrere, welche man zusammendreht, um eine Litze zu bilden.

Diese Litzen zusammengedreht, bilden einfache Seile (**haussières** oder **aussières**), wie sie H. Dühamel in seiner vorzüglichen Abhandlung über die Seilerkunst (**Traité de l'art de la corderie**) bezeichnet.

Man unterscheidet die einfachen Seile durch die Anzahl der Litzen, woraus sie gebildet sind. Es giebt deren, die aus drei bis sechs Litzen bestehen.

Jede Litze kann aus zwei bis sechszig zusammengedrehten Fäden bestehen.

Die zusammengesetzten Seile, welche man Grelings (grelins) nennt, bestehen aus dünnen einfachen Seilen (Strähnen) statt der Litzen.

Eine große Menge von Erfahrungen, welche H. Dühamel gemacht hat, beweisen, daß die Grelings (aus Strähnen gefertigte Taue) viel stärker sind als die aus Litzen gefertigten Seile. Da aber die Fertigung der Grelings ein wenig kostspieliger ist, so macht man fast alles Seilwerk aus Litzen. Es giebt nur besondere Fälle, welche zur Fertigung der Grelings bestimmen. —

Die am meisten beim Bauwesen gebräuchlichen Seile sind die Leinen (Schnüre), die Stricke (Bindstricke), Lenkseile (vingtaines), die Rüsttaue (haubans), kleinen Kabeltaue, Hebezeugtaue (Kabeltaue), Kübelseile (Aufziehseile, brayés).

Die Leinen sind dünne Seile, die aus drei Fäden bestehen, und dienen zum Abschnüren der zu erbauenden Mauern.

Die Stricke haben ungefähr 7 $^1/_2$ Linien Dicke und sind aus vier Litzen — jede aus sechs Fäden — gebildet.

Die Lenkseile haben ungefähr 1 Zoll Durchmesser und bestehen aus vier Litzen — jede aus sieben Fäden.

Die Rüsttaue haben 15 Linien Durchmesser und sind aus vier Litzen — jede aus zehn Fäden — gebildet.

Die kleinen Kabeltaue haben 21 Linien Durchmesser und vier Litzen — jede von 40 Fäden. Die Kabeltaue haben 2 Zoll Durchmesser und sind aus vier Litzen — jede von 60 Fäden gebildet.

Die Taue von 2 $^1/_2$ Zoll Durchmesser haben vier Litzen, jede von 72 Fäden. Die von 3 Zoll haben vier Litzen, jede von 90 Fäden. Diese letztern sind die stärksten, deren man sich beim Bauwesen bedient.

Die Aufziehseile (brayés) — zum Umschlingen der Steine — sind dünne Kabeltaue mit vier Litzen, die mehr locker als die Kabeltaue gedreht sind, aber von derselben Dicke. —

Die vier stärksten Taue, deren man sich bei Erbauung des Doms der neuen St. Genoveva-Kirche bediente, hatten 2 $^1/_2$ Zoll Durchmesser und 25 Toisen Länge. Sie bestanden aus Strähnen von vier Litzen, jede aus 60 Fäden. Die stärkste Belastung, welche sie auszuhalten hatten, betrug ungefähr 6000 Pfd.

Es ereignete sich übrigens, daß eines dieser Taue bei einer Belastung von 4200 Pfd. zerriß. Dieses führte auf den Gedanken,

jene vier Taue zu prüfen, um die stärkste Belastung zu erfahren, welche man ihnen ohne Gefahr anvertrauen könnte. Das stärkste Tau hielt ein Gewicht von **11553** Pfd. aus.

Das Tau, welches bei einer Last von **4200** Pfd. zerriß, hielt in einem andern Fall ein Gewicht von **10522** Pfd. aus. Dieses beweis't, daß sein erstes Zerreißen durch eine besondere fehlerhafte Stelle verursacht wurde. Das dritte Tau hielt, ehe es zerriß, ein Gewicht von **7522** aus. Das vierte zerriß bei einem Gewicht von **6235**. Hieraus ergiebt sich ein mittleres Gewicht von **8958**.

Die Litzen hatten **14** Linien im Durchmesser, **154** Linien Durchschnittsfläche und jede derselben trug **2240** Pfd. Jeder Faden hatte $2\,^3/_5$ Linien Durchschnittsfläche und entsprach einer Kraft von $37\,^1/_3$, also von **14,55** Pfd. auf die Quadratlinie.

Aus diesen Versuchen ergiebt sich, daß man den Kabeltauen von dieser Dicke und mit Strähnen verfertigt ohne Gefahr nicht mehr als dieses Gewicht (**6000**) anvertrauen kann, besonders wenn diese Last eine Zeit lang in der Luft hängen bleiben oder zu einer beträchtlichen Höhe erhoben werden soll. Wenn man aber eine Last auf einem horizontalen Boden oder einem nicht viel davon abweichenden zu bewegen hat, so kann man ihnen eine Last von **7** bis **8000** Pfd. zumuthen, oder $^3/_4$ von dem, was sie bis zum Zerreißen aushalten können. —

Weiter leitet man aus diesen Erfahrungen und aus vielen andern, welche über Taue von verschiedener Dicke und aus Strähnen verfertigt gemacht worden sind, daß die Art der Berechnung ihrer absoluten Festigkeit, welche auch am meisten mit diesen Erfahrungen und mit denen der Herren Dühamel, Muschenbroek, Reaumur u. a. übereinstimmt, darin besteht, daß man die Festigkeit der Litzen, woraus sie zusammengesetzt sind, sucht und sie durch ihre Zahl multiplicirt. Man führt dieses auch aus, indem man die mittlere Festigkeit eines Fadens, von **1** Linie Durchmesser zur Grundlage der Rechnung nimmt. Diese Festigkeit ist nach den Versuchen des H. Dühamel $\mathbf{16}\,^2/_3$ Pfd. Dieselben sind mit Seilen gemacht worden, die aus dem besten Hanf und mit vieler Sorgfalt verfertigt waren. Unsere Erfahrungen geben diese Festigkeit bei Seilen unter **1** Zoll Durchmesser zu **16** Pfd. an; — zu **15** Pfd. bei Seilen darüber bis zu **2** Zoll; — zu **14** Pfd. bei Seilen über **2** bis zu **3** Zoll. Hieraus ergiebt sich eine mittlere Festigkeit zu **15** Pfd. — Nach diesen Bestimmungen haben wir nach-

folgende Tabelle berechnet, in welcher man außer der mittleren Festigkeit die Last findet, welche man den Tauen ohne Gefahr anvertrauen kann, und das Gewicht von **10** Fuß oder **2** Klafter Taulänge.

Tabelle

der mittlern und reduzirten Tragfähigkeit der Seile im Vergleiche mit ihren Durchmessern.

Litzen				Seile aus vier Litzen				
Umfang in Linien	Durchmesser in Linien	Gewicht in Pfund	Mittlere Festigkeit	Umfang in Linien	Durchmesser in Lin.	Gewicht mit der Füllschnur in Pfd.	Mittlere Festigkeit	Reduz. Tragfähigk.
$2\,^{34}/_{49}$	$^{6}/_{7}$	0,024	11	6	2	0,10	58	29
$4\,^{2}/_{49}$	$1\,^{2}/_{7}$	0,052	24	9	3	0,22	100	50
$5\,^{19}/_{49}$	$1\,^{5}/_{7}$	0,095	44	12	4	0,40	180	90
$6\,^{36}/_{49}$	$2\,^{1}/_{7}$	0,150	69	15	5	0,63	276	138
$8\,^{4}/_{49}$	$2\,^{4}/_{7}$	0,215	99	18	6	0,90	416	208
$9\,^{3}/_{7}$	3	0,290	135	21	7	1,22	540	270
$10\,^{38}/_{49}$	$3\,^{3}/_{7}$	0,380	176	24	8	1,60	700	350
$11\,^{6}/_{49}$	$3\,^{6}/_{7}$	0,475	223	27	9	2,02	892	446
$13\,^{23}/_{49}$	$4\,^{2}/_{7}$	0,599	275	30	10	2,52	1112	556
$14\,^{40}/_{49}$	$4\,^{5}/_{7}$	0,719	333	33	11	3,03	1332	666
$16\,^{8}/_{49}$	$5\,^{1}/_{7}$	0,855	397	36	12	3,60	1588	794
$17\,^{25}/_{49}$	$5\,^{4}/_{7}$	1,005	469	39	13	4,23	1868	934
$18\,^{6}/_{7}$	6	1,171	540	42	14	4,93	2160	1080
$20\,^{10}/_{49}$	$6\,^{3}/_{7}$	1,335	620	45	15	5,62	2480	1240
$21\,^{27}/_{49}$	$6\,^{6}/_{7}$	1,520	705	48	16	6,40	2820	1410
$22\,^{44}/_{49}$	$7\,^{2}/_{7}$	1,710	796	51	17	7,20	3184	1592
$23\,^{12}/_{49}$	$7\,^{5}/_{7}$	1,933	893	54	18	8,14	3572	1786
$25\,^{36}/_{49}$	$8\,^{1}/_{7}$	2,150	995	57	19	9,05	3976	1988
$26\,^{46}/_{49}$	$8\,^{4}/_{7}$	2,325	1105	60	20	10,00	4408	2204
$28\,^{2}/_{7}$	9	2,629	1215	63	21	11,07	4860	2430
$29\,^{31}/_{49}$	$9\,^{3}/_{7}$	2,826	1329	66	22	11,90	5340	2670
$30\,^{48}/_{49}$	$9\,^{6}/_{7}$	3,167	1457	69	23	13,33	5828	2914
$32\,^{16}/_{49}$	$10\,^{2}/_{7}$	3,433	1587	72	24	14,40	6348	3174
$32\,^{33}/_{49}$	$10\,^{5}/_{7}$	3,710	1722	75	25	15,62	6888	3444
$34\,^{1}/_{49}$	$11\,^{1}/_{7}$	4,014	1862	78	26	16,90	7448	3724
$36\,^{18}/_{49}$	$11\,^{4}/_{7}$	4,327	2008	81	27	18,22	8036	4017
$37\,^{5}/_{7}$	12	4,655	3160	84	28	19,60	8640	4320
$39\,^{3}/_{49}$	$12\,^{3}/_{7}$	4,992	2356	87	29	21,02	9268	4634
$40\,^{20}/_{49}$	$12\,^{6}/_{7}$	5,344	2480	90	30	22,50	9920	4960
$41\,^{37}/_{49}$	$13\,^{2}/_{7}$	5,705	2648	93	31	24,02	10592	5296
$43\,^{5}/_{49}$	$13\,^{5}/_{7}$	6,080	2821	96	32	25,60	11284	5642
$44\,^{22}/_{49}$	$14\,^{1}/_{7}$	6,465	3000	99	33	27,22	12000	6000
$45\,^{39}/_{49}$	$14\,^{4}/_{7}$	6,864	3185	102	34	28,90	12740	6370
$47\,^{1}/_{7}$	15	7,272	3375	105	35	30,62	13500	6750
$48\,^{24}/_{49}$	$15\,^{3}/_{7}$	7,695	3571	108	36	32,40	14280	7140

Da die Seile nicht regelmäßige Cylinder sind, so verhält sich auch ihr Durchmesser nicht zu ihrem Umfang wie **7** zu **22**. Der Durchmesser ist bei den dünnen Seilen etwas mehr als $^1/_3$ des Umfangs, bei den dicken von vier Litzen beinahe $^1/_3$. Wenn die Litzen aus zusammengedrehten Fäden bestehen, so weicht das Verhältniß wenig von **7** zu **22** ab. Bei den Seilen von vier Litzen ist der Durchmesser von diesen beinahe $^2/_7$ des Durchmessers der Seile.

Zweites Kapitel.

Von den Maschinen zum Aufziehen der Lasten.

Erster Artikel.

Die Figur **1** auf der Tafel **CLXXII** zeigt, wie eine Last vermittelst eines in die Erde gepflanzten Mastbaumes, der noch durch vier Rüsttaue **A**, **B**, **C** und **D** gehalten wird, aufzuziehen ist.

Diese Figur dient zur Erläuterung einer Stelle aus Vitruv im **5**. Kapitel des **10**. Buchs. Er spricht daselbst von der Einfachheit dieses Mittels, fügt aber hinzu, daß eine gewisse Geschicklichkeit zu dessen Gebrauch erforderlich sey, weil der Baum nach der Seite geneigt werden müsse, wo die Last liege. Die Menge von Flaschenzügen, welche die Alten bei dieser Maschine gebrauchten, veranlaßte den Namen **polypastos** (Flaschenzug mit mehren Rollen) für dieselbe. Man macht noch Gebrauch von diesem Mittel in Italien und in Frankreich bei Seebauten. Vor Kurzem wendeten einige Zimmerleute, die an Seehäfen gearbeitet hatten, dasselbe zu Paris beim Aufrichten von Zimmergerüsten an, die bei Gelegenheit von Festen gemacht wurden. —

Die Figuren **2**, **3** und **4** stellen zwei Arten von dreifüßigen Hebezeugen dar. Die eine wirkt vermittelst einer Welle mit **4** Armen (Figur **2**). Vitruv spricht von dieser Maschine im **3**. Kapitel des **10**. Buchs. Er bezeichnet sie daselbst mit dem Worte **tripastos** (Flaschenzug), weil dabei ein Flaschenzug von **3** Seilen in Anwendung kam. (Man sehe die für die Tafeln beigefügten Noten.)

Die andere Art (Figur **3** und **4**) hat in der Mitte der Welle eine Trommel oder eine große Rolle **R**, um welche sich das Kabeltau wickelt, woran die für das Heben der Last bestimmten Menschen ziehen. Dieses gewährt einen Vortheil, der im Verhältniß zum Durchmesser

der Trommel steht, weil das Kabeltau um diesen größern Umfang gewickelt ist. Vitruv erklärt diese Maschine im 5. Kapitel des 10. Buchs. (Man sehe die Noten.) —

Die Figuren 5 und 6 stellen zwei Hebezeuge aus der neuern Zeit dar. Dieselben werden nur durch Windetaue festgehalten. Das in Figur 5 dargestellte wirkt vermittelst einer Welle mit viereckigen Enden, in welchen sich Löcher für die beweglichen Hebbäume befinden.

Das in Figur 6 dargestellte, welches man das große Hebezeug nennt, wirkt vermittelst einer Welle, woran sich ein mit Sprossen (wie R) versehenes Rad befindet und welche von senkrechten Pfosten getragen wird, die in die Schenkel und in den unteren Riegel des Hebezeugs eingezapft sind.

Dieses Hebezeug ist oben durch ein Holz G verlängert, welches zwischen den Schenkeln des Hebezeugs befestigt ist und oben eine Rolle aufnimmt. —

Figur 7 stellt eine Art dar, wie man zwei Hebezeuge vereinigt, um sehr schwere Lasten ohne Windetaue in die Höhe zu heben. Diese sinnreiche Maschine ist von H. von Regemorte, welcher sie mit Erfolg bei Erbauung der Brücke von Moulins gebrauchte, erdacht worden. —

Figur 8 stellt ein merkwürdiges Hebezeug dar, bei welchem man — vermöge einer Welle von zwei verschiedenen Durchmessern T und t und der Art der Umwickelung des Kabeltaus um die beiden Theile der Welle, nachdem man das Tau durch die beiden Rollen gezogen hat — die Hebebäume wegnehmen kann, ohne daß die Last herabsinkt, so daß dieselbe auf der Höhe hängen bleibt, wo sie sich beim Wegnehmen der Hebbäume befindet. —

Figur 9 zeigt ein Hebezeug, dessen Gestalt derjenigen der Rammen zum Einschlagen der Pfähle ähnlich ist. Diese Maschine wirkt vermittelst einer Welle T, die sich mit dem einen Ende in dem Hauptständer M befindet, und mit dem andern in einem Ständer D, der mit den beiden Riegeln C und P und dem großen Strebebalken verbunden ist. Das Ganze steht auf einem Fuß P, den man Gabel nennt und der aus zwei rechtwinklich verbundenen Holzstücken besteht, die durch Bänder gehalten werden.

Der Hauptständer M wird durch drei große Streben gestützt und bedarf nicht der Rüsttaue zur Aufrechterhaltung.

Dieser große Ständer endigt sich in eine kegelförmige Spitze p, in welcher sich ein Querholz F befindet, das zwei Rollen oo aufnimmt, wovon die eine der Welle und die andere der Last entspricht.

Zweiter Artikel. — Krahne mit festem und beweglichem Krahnbalken, deren man sich bei Erbauung der neuen St. Genoveva-Kirche und der medizinischen und chirurgischen Schulen bedient hat.

Krahne sind Maschinen, welche man bei Aufführung großer Gebäude gebraucht, um Steine zu heben und auf eine gewisse Entfernung von einem festen Punkte aus fortzubewegen. Dieses wird mit Hülfe einer Art Schnabel von Zimmerholz bewerkstelligt, woraus man Veranlassung genommen hat, diesen Maschinen den Namen Krahn, Krahnich zu geben — wegen der Aehnlichkeit mit dem Schnabel und dem langen Hals des Vogels Kranich.

Die Krahne sind eine Erfindung der neuern Zeit. Diejenigen, von denen im Vitruv und in einigen Schriftstellern der Alten die Rede ist, waren Kriegsmaschinen, die in keiner Beziehung mit den neuern Krahnen stehen. —

Die St. Genoveva-Kirche ist eins von den öffentlichen Gebäuden, wo man am meisten Anwendung von den Krahnen gemacht hat. Ich sah bis sieben dieser Maschinen daran in Thätigkeit. Da ich während beinahe vierzig Jahren damit beauftragt war, die Arbeiten an diesem Gebäude zu leiten, so habe ich Gelegenheit gehabt, über den Gebrauch dieser Maschinen viele Bemerkungen zu machen. Diese gehen dahin:

1) daß ein gewöhnlicher Krahn gehörige Festigkeit hat, wenn der Schnabel oder Krahnbalken die Last nicht mehr als $^2/_3$ der ganzen Höhe des Krahnes entfernt;

2) daß der Theil der Tragsäule, welcher in das bewegliche Gebälk für den Krahnbalken geht, wenigstens die Hälfte von dem Krahnbalken ist, d. h. die Hälfte von der Entfernung des Kabeltaus, woran sich die Last befindet, bis zu der Achse der Tragsäule;

3) daß dieser Theil der Tragsäule die Gestalt eines abgekürzten Kegels haben muß, dessen Durchmesser unten so viele Zolle hat als der Krahnbalken Fuße in der Länge, und dessen oberer Durchmesser halb so groß ist;

4) daß, der Krahn werde vermittelst eines Trommelrades oder eines Rades mit Sprossen in Thätigkeit gesetzt, die Entfernung dieses Rades von der Achse der Tragsäule $^2/_3$ des Krahnbalkens betragen muß;

5) daß der Durchmesser des einen oder andern dieser Räder **12** mal so groß seyn muß, als der der Welle, um welche sich das Kabeltau wickelt;

6) daß die Größe des Fußes $^2/_3$ des Krahnbalkens sey. —

Obgleich die gewöhnlichen Krahne, wenn sie auf diese Art gebaut sind, sich beim Gebrauch am vortheilhaftesten zeigen, so haben sie doch zwei wesentliche Fehler. — Der erste ist, daß die am Ende des Krahnbalkens hängende Last mit einer Gewalt wirkt, welche ein sehr starkes und sehr schweres Gebälk erfordert, das wieder die Wirkung der Last gegen die Tragsäule vermehrt. Diese Wirkung ist so bedeutend, daß ich Tragsäulen von **18** Zoll Durchmesser bei einer an das Ende des Krahnbalkens gehängten Last von **3000** Pfd. brechen sah.

Der zweite Fehler ist der, daß, da die Länge des Krahnbalkens eine bestimmte ist, man nur in einem einzigen Fall von dem Krahn bequemen Gebrauch machen kann. In allen andern Fällen ist der Krahnbalken entweder zu lang oder zu kurz, so daß man fast immer die Last ziehen muß, um sie an ihren Platz zu bringen, was die Wirkung gegen die Tragsäule so sehr vermehrt, daß sie gewöhnlich unter diesen Umständen bricht. Um einen Begriff von dieser Wirkung zu geben, wollen wir die Rechnung bei einem gewöhnlichen Krahn, der einen Krahnbalken von **18** Fuß Länge hat, anstellen.

Um diese Rechnung gut zu begründen, muß man wissen, daß bei allen Arten von Maschinen — wo man die Last vermittelst eines Rades mit Sprossen erhebt, dessen Durchmesser **12** mal so groß ist als der der Welle — wenigstens **1** Mann auf jede **1000** Pfund des Lastgewichtes zu rechnen ist; denn niemals steigen die Arbeiter bis zum äußersten Ende des horizontalen Hebels, welcher gleich dem Halbmesser des Rades ist. Es würde auch gefährlich seyn, wenn sie bis dahin steigen müßten, weil zu befürchten wäre, daß sie die Last, welche nur an dieser Stelle nahe mit der Kraftäußerung der Arbeiter im Gleichgewicht seyn würde, mit sich fortrisse bei der geringsten Erschütterung, wodurch die Wirkung der Last vermehrt würde und wodurch sich traurige Zufälle ereignen könnten.

Der Schwerpunkt der gewöhnlichen Krahne liegt, wenn sie nicht belastet sind, vorwärts der Tragsäule. Nimmt man aber auch an, man bringe es durch Belastung des hintern Theils des Krahns dahin, daß der Schwerpunkt mit der Achse der Tragsäule zusammenfällt — wie es seyn sollte —, so findet doch am Hebelsarm der Last, wenn derselbe **18** Fuß lang und die Last **3000** Pfd. schwer ist, eine Kraftäußerung von **54000** Pfd. statt. Dieser wird zwar entgegen gewirkt durch das Gewicht von **3** Arbeitern, welche sich auf dem Sprossenrad, das **12** Fuß von der Achse der Tragsäule entfernt ist, befinden. Da aber **1** Mann im Mittel **130** Pfd. wiegt, so ist die Kraftäußerung der **3** Arbeiter **= 390 . 12 = 4680**, und nimmt man diese von der durch die Last hervorgebrachten, welche **54000** Pfd. beträgt, weg, so bleiben noch **49320** Pfd., welche die Tragsäule zu brechen streben. Da der Durchmesser der stärksten Tragsäule **18** Zoll ist bei **18** Fuß Krahnbalkenlänge und die Stelle der größten Wirkung auf sie **9** Fuß vom obern Ende entfernt ist, so findet man durch Rechnung, die sich auf die Erfahrungen über die Tragkraft der Hölzer stützt (Man sehe das **3.** Kapitel des **2.** Abschnitts des **1.** Buches), daß eine Tragsäule von vorerwähnter Beschaffenheit nur einer Kraftäußerung bis zu **65680** Pfd. widerstehen kann. Wenn man demnach die geringste Kraftäußerung zum Herbeiziehen einer Last von **3000** Pfd., die an dem Krahnbalken hängen, auf eine Entfernung anwendete, die etwas größer wäre als der Krahnbalken; so würde die Tragsäule am Hals brechen, wie es auch die Erfahrung zeigt. Ich habe nämlich eine Tragsäule von **16** Zoll Durchmesser bei der Kraftäußerung einer Last, die nur **2800** Pfd. wog, brechen gesehen.

Als man im Jahr **1763** anfing, die vier Pfeiler des Doms der St. Genoveva aufzurichten, ließ man mit großen Kosten einen Krahn machen, der **73** Fuß Höhe und einen Krahnbalken von **31 1/2** Fuß Länge hatte. Er war in der Mitte des Doms aufgestellt, weil man hoffte, ihn bei den vier Pfeilern, den Bogen und dem Thurm darauf gebrauchen zu können. Aber man mußte bald darauf verzichten, denn die Wirkung gegen die Tragsäule war so beträchtlich, daß der Krahn kaum **2000** Pfd. tragen konnte, und man mußte noch den hintern Theil mit **7** bis **800** Pfd. belasten. — Dieser Krahn, welchen die Figur **1** auf Tafel **CLXXIII** darstellt, wurde sehr wohlfeil an die Unternehmer des Brückenbaues zu Neuilly verkauft, die ihn aber aus demselben Grund nicht gebrauchen konnten. Er war übrigens sehr

gut gemacht und sehr gut erhalten; aber der Künstler, welcher ihn angegeben hatte, hatte nicht die ungeheure Kraftäußerung berechnet, welche bei einem so großen Krahn stattfinden mußte.

Krahn, dessen man sich bei Erbauung der medizinischen Schule bediente. (Tafel CLXXIII.)

Man hatte zur Erbauung der medizinischen Schule zu Paris einen Krahn machen lassen (Figur 2), welcher vermittelst einer Kurbel von 14 Zoll Halbmesser in Thätigkeit gesetzt wurde. Die Schraube ohne Ende an der Kurbelachse griff in ein metallenes Rad von 18 Zähnen, an dem sich ein Triebrad von 4 Zähnen befand, das in ein an der Welle befestigtes Rad von 24 Zähnen griff, so daß 36 Kurbelumdrehungen nöthig waren zu 1 Umdrehung der Welle.

Um die Größe der Kraft dieses Triebwerks zu bestimmen, muß man aus der Mechanik wissen, daß sich bei allen Arten von Maschinen die Kraft zu ihrer Wirkung verhält wie umgekehrt die von ihnen in einer bestimmten Zeit durchlaufenen Wege, vorausgesetzt, daß man von der Reibung absieht. Da bei der Maschine, von welcher hier die Rede ist, die Kurbel 14 Zoll Halbmesser hat, so durchlauft die an ihr angebrachte Kraft bei jeder Umdrehung einen Weg von 7 Fuß 4 Zoll, und da 36 Kurbelumdrehungen zu 1 Umdrehung der Welle erforderlich sind, so verhält sich der von der Kurbel durchlaufene Weg zu dem von dem Kabeltau um die Welle durchlaufenen gleich wie 7 Fuß 4 Zoll mal 36 zu 4 Fuß 6 Zoll, also wie 264 Fuß zu 4½ Fuß, oder wie 176 zu 3.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß 1 Mann von mittlerer Stärke, an einer Kurbel angestellt, mit keiner größeren Kraft als 25 Pfd. wirken kann, wenn diese Arbeit, welche eine der mühevollsten ist, einige Zeit dauern soll. Demnach erhält man aus der Proportion $3 : 176 = 25 : x$ ein viertes Glied, welches die Last ist, der ein an der Kurbel angestellter Mann das Gleichgewicht halten kann. Diese Last ist nach der vorstehenden Proportion $\frac{176 \cdot 25}{3} = 1466\frac{2}{3}$ Pfd. Da man aber zur Bewegung derselben und zur Ueberwindung der bei allen Maschinen unvermeidlichen Reibung eine größere Kraft bedarf, so muß man die Last, welche 1 Mann zu bewegen vermag, auf 1200 Pfd. herabsetzen. Da der Kubikfuß eines Steins von Paris ungefähr 160 Pfd. wiegt, so folgt daraus, daß 1 Mann nicht mehr als ungefähr

7 Kubikfuß Stein in die Höhe schaffen kann, d. h. einen Haustein von der kleinsten Art, weil es nicht selten ist, deren bis zu **40** Kubikfuß zu finden.

Bei den Krahnen mit Rädern sind die mit Sprossenrädern viel vortheilhafter als die mit Trommelrädern, weil der Arbeiter, welcher auf einem Sprossenrad emporsteigt, bis zu **B** (Tafel **CLXXIV**, Fig. **2**) kommen kann. Dann wirkt er mit dem größt möglichen Hebel, statt daß der Arbeiter, welcher sich in einem Trommelrad befindet und nur im Aeußersten bis zu **E** steigen kann, nur an dem Hebel **EF** wirkt, welcher ungefähr $^2/_3$ des vorhergegangenen ist.

Nehmen wir ein Rad zu **15** Fuß Durchmesser an, welches die gewöhnlichste Größe ist, eine Welle von **15** Zoll und das Gewicht eines Arbeiters zu **130** Pfd., so wird die größte Kraftäußerung bei einem Sprossenrade seyn **130 . 12**, was **1560** Pfd. für die Last giebt, welcher **1** Arbeiter das Gleichgewicht halten kann. Aber da man zur Bewegung derselben und zur Ueberwindung der Reibung ungefähr $^1/_6$ des Gewichts bedarf, so wird man das Gewicht, welches **1** Mann aufzuziehen vermag, auf **1300** Pfd. bestimmen, d. i. auf **100** Pfd. mehr als bei der Kurbel. — In einem Trommelrad kann **1** Mann nur einer Last von **1300** Pfd. das Gleichgewicht halten und davon nur **1084** Pfd. zum Aufsteigen bringen', was **216** Pfd. weniger als beim Sprossenrad macht, und **116** Pfd. weniger als bei der Einrichtung mit der Kurbel. Demnach befindet sich diese in Bezug auf Wirkung zwischen dem Sprossen- und Trommelrad, aber sie erfordert mehr Zeit und ist ermüdender.

Ein Rad von **15** Fuß Durchmesser, welches die gebräuchlichste Größe ist, hat gewöhnlich **45** Sprossen. Es lehrt die Erfahrung, daß ungefähr **1** Minute zur einmaligen Umdrehung des Rades nöthig ist, während mehr als **2** Minuten erforderlich sind, um eine einmalige Umdrehung vermittelst der Kurbel zu bewerkstelligen. Demnach bedarf man bei ihrem Gebrauch noch einmal so viel Zeit als bei dem Sprossen- oder Trommelrad.

Es ist überdieß zu bemerken, daß, wenn ein Arbeiter mit seinem Gewicht thätig ist, die Wirkung von seinem Willen und seinen Kräften unabhängig bleibt, während ein an einer Kurbel angestellter Arbeiter mit einem geringern oder größern Theil seiner Kraft und seiner Entschlossenheit thätig seyn kann. Es läßt sich demnach das Resultat

seiner Arbeit viel schwerer schätzen, und dasselbe kann sich bisweilen auf die Hälfte oder auf das Doppelte verändern.

Im gewöhnlichen Gebrauch rechnet man bei den Sprossenrädern **1** Arbeiter auf jedes Tausend Pfund, welches die aufzuziehende Last wiegt, und bei den Trommelrädern **1** Arbeiter auf **750** Pfd. Man kann **4** Arbeiter auf einem Sprossenrad und **3** in einem Trommelrad anstellen, und wenn das Rad zugleich ein Sprossen- und Trommelrad ist, so sind bis zu **12** Arbeiter anzubringen, welche **10000** Pfd. aufzuziehen vermögen.

Neuer Krahn mit beweglichem Krahnbalken, welchen der Verfasser zur Erbauung des Doms der St. Genoveva-Kirche angegeben hat.

Die Vortheile des neuen Krahnes sind:

1) Daß der Krahnbalken die Last nicht allein trägt, wie bei den gewöhnlichen Krahnen. Er hält dieselbe nur entfernt, woraus sich ergiebt, daß derselbe — statt als Hebel thätig zu seyn, bei welchem ein Bestreben zum Brechen an seinem Stützpunkte stattfindet — in der Richtung seiner Länge wie die stehenden Hölzer Widerstand leistet. Da er demnach nicht so stark zu seyn braucht, so ist er viel leichter als der Krahnbalken des gewöhnlichen Krahnes.

2) Daß der Schwerpunkt des neuen Krahns, da er sich ungefähr **2** Fuß rückwärts der Tragsäule befindet, den Vortheil gewährt, daß der Krahn ein Gewicht von **1800** Pfd. tragen kann, ehe der Schwerpunkt vor die Tragsäule kommt.

Wenn demnach dieser Krahn mit **3000** Pfd. belastet ist, so wirkt er mit einer nicht größern Kraft gegen die Tragsäule als ein gewöhnlicher, der nur mit **1200** Pfd. belastet ist. Da sein Balken **18** Fuß lang ist wie der des gewöhnlichen Krahns, den wir zur Vergleichung nehmen, so beträgt die Wirkung gegen die Tragsäule **21600** Pfd. Zieht man hiervon die Gegenwirkung ab, welche durch die **3** am Rad zum Aufziehen der Last angestellten Arbeiter erzeugt wird und welche wir — wie bei dem vorhergegangenen Exempel — zu **4680** Pfd. annehmen, so bleiben nur **16920** Pfd. — statt **49320**, welche der gewöhnliche Krahn giebt, — also ein wenig mehr als der dritte Theil. Es ist überdieß zu bemerken, daß die Wirkungen der Last und der Kraft, welche sich in der oberen — gerade über dem Schwerpunkt der Tragsäule befindlichen Rolle vereinigen, zur festen Stellung dieser Art

von Krahnen und zur Verminderung der Wirkung gegen die Tragsäule beitragen. — Der Rechnung und Erfahrung nach hat man gefunden, daß dieser Krahn eine Last tragen kann, die seinem Gewichte gleich ist, ohne umzustürzen; während ein gewöhnlicher — wenn auch auf die vortheilhafteste Art eingerichteter umstürzen würde bei einer Belastung noch geringer als die Hälfte seines Gewichtes, wenn anders die Tragsäule stark genug wäre, dieser Belastung Widerstand zu leisten.

Diese neuen Krahne, von denen man bei Erbauung des Doms der St. Genoveva-Kirche Gebrauch gemacht hat, und deren man sich noch gegenwärtig (**1808**) zur Wiederherstellung der Thürme bedient, haben Steine von **36** bis **40** Kubikfuß, die **6** bis **7000** Pfd. wiegen, bis zu einer Höhe von **150** Fuß gebracht, ohne daß man dabei ermüdete und ohne daß sich der geringste unangenehme Zufall dabei ereignete. Man würde den gewöhnlichen Krahnen nie eine so bedeutende Last anzuvertrauen gewagt haben, weil gegen die Tragsäule eine so außerordentliche Wirkung stattfände, die mehr als **120000** Pfd. betrüge, während eine Tragsäule von **18** Zoll Durchmesser nur einer Wirkung von **65000** Pfd. zu widerstehen vermag.

Bei den neuen Krahnen kann man diese Wirkung völlig aufheben, weil sie durch Taue aufgerichtet erhalten werden können — wie ein Hebezeug — vermittelst eines Ringes mit einem Zapfen, welcher in der Platte auf dem obersten Theil des Krahnes angebracht ist. Da dieser Ring sich in der Achse der Tragsäule befindet und seine Stelle nicht verändert, wenn man den Krahnbalken dreht, so reichen drei Rüsttaue hin, um letztern eine ganze Umdrehung ohne Nachtheil für die Tragsäule machen zu lassen.

Ein anderer Vortheil der neuen Krahne ist der, den Balken um die Hälfte verkürzen oder verlängern zu können und ihn über dem Punkt, wo man will, festzuhalten. Bei Aufführung eines Gebäudes ist man oft genöthigt, die Last nach außen oder nach innen zu ziehen (**pêcher**), um sie auf eine Wand oder auf einen Pfeiler zu legen. Für diesen Fall ist es sehr vortheilhaft, daß man den Krahnbalken verlängern oder verkürzen kann, um die Last an ihre Stelle zu bringen, daß man also nicht zu ziehen nöthig hat, wodurch man in die Gefahr kommt, den Krahn umzuwerfen oder die Last auszuhaken.

Beschreibung des neuen Krahns. Tafel CLXXIV.

Die Abmessungen der Krahne, welche für den Dom der St. Genoveva-Kirche ausgeführt wurden, waren für den Platz und den daselbst zu leistenden Dienst berechnet; aber sie lassen auch größere oder kleinere Abmessungen zu — je nach den Umständen.

Die ganze Höhe ist **36** Fuß; der Krahnbalken hat in seiner größten Länge **18** Fuß, in seiner kleinsten **9** Fuß, so daß man mit der Last Bogen von **9** bis **18** Fuß Halbmesser beschreiben kann.

Das bewegliche Gebälk, welches den Krahnbalken trägt, besteht aus einer doppelten Holzverbindung. Die beiden großen aufrechtstehenden Hölzer, welche in den Figuren **1**, **2** und **3** mit der Zahl **5** bezeichnet sind, heißen Backen. Zwischen diesen Holzstücken befindet sich die Tragsäule so, daß sie dieser hinreichenden Spielraum lassen, damit das Gebälk ohne Reibung umgedreht werden kann. Da der runde Theil der Tragsäule nach obenhin abnimmt, so ist der Zwischenraum bei diesen Backen oben kleiner als unten. Sie sind durch drei Riegel **6**, **6**, **6** ihrer Länge nach verbunden.

An dem tiefsten Riegel ist unten ein starkes Zapfenlager von Gußeisen befestigt, welches den Zapfen der Tragsäule aufnimmt, auf welchem der ganze bewegliche Theil des Krahnes ruht. Unten sind die Backen durch ein Bohlenstück **9** verbunden, welches, mit einem runden Loch durchbrochen, wie ein Band den untern runden Theil der Tragsäule umfaßt — an der Stelle, wo die größte Wirkung auf dieselbe stattfindet. Zur Verminderung der Reibung hat man den Theil der Tragsäule, der sich in dem runden Loch befindet, mit einem kupfernen Ring als Halsband umgeben, welches die Bewegung äußerst sanft und gleichförmig macht.

Oben sind diese beiden Backen durch eine Platte **8** verbunden, die man Kappe nennt, und auf $^2/_5$ ihrer Höhe mit einem langen Rahmen **7** umfaßt, welcher an dem einen äußersten Ende ein senkrecht herabgehendes Holzstück **13** trägt, das oben durch zwei Bänder befestigt ist und unten den einen Zapfen der Welle mit dem Rad aufnimmt. Der andere Wellzapfen wird aufgenommen von zwei senkrechten Hölzern **12**, die mit dem untern Bohlenstück **9** und dem langen Rahmen **7** verbunden sind.

Unter diesem Rahmen sind vier große Bänder **11**, welche sich unten mit den Backen **5** verbinden, und darüber befinden sich vier Streben **10**, um die Backen oben zu unterstützen und senkrecht zu erhalten.

Der Krahnbalken besteht aus einem Holzstück **15**, welches mit dem innern Ende vor der Tragsäule unter dem Rahmen durch einen starken Bolzen, um den sich der Balken dreht, festgehalten wird. Dieser Bolzen wird von zwei in die Backen eingezapften Trägern aufgenommen, welche noch durch einen Bügel von Eisen, der sie umfaßt, gehalten werden. An dem äußern Ende ist dieser Krahnbalken mit einer Rolle von Gußeisen a, Figur **4**, versehen, und diese hat an der einen Seite ein eisernes Rad mit Sägezähnen, um sie, wenn man den Krahnbalken bewegen will, hemmen zu können. Deßwegen hat man vor der Rolle eine Art von zweiarmigem Hebel b angebracht, der um den Bolzen e beweglich ist, welcher sich auf $^1/_3$ seiner Länge befindet. Dieser Hebel hat einen platten eisernen Knopf d, womit das Kabeltau auf die Rolle gedrückt wird, und einen Zahn, der zugleich in das gezähnte Rad greift. Dieses muß so geschehen, daß der Krahnbalken mit der Last gehoben und niedergelassen werden kann, wenn man das große Rad an der Welle in Bewegung setzt.

Der kleine Hebel, welcher die Rolle hemmt und sie von der Hemmung befreit, wird mit Hülfe von Ketten, die an seinen beiden Enden befestigt sind, in Thätigkeit gesetzt. Diese Ketten gehen über Rollen, die in denselben Bolzen gesteckt sind, um den sich der Krahnbalken bewegt. Eine dieser Ketten geht über eine kleine Walze, woran sie befestigt ist, und man zieht sie vermittelst eines Gewichts an, das an dem äußersten Ende eines an der Walze angebrachten Hebels hängt. Hierdurch werden Rolle und Kabeltau gehemmt.

Man hält den Krahnbalken an einer beliebigen Stelle vermittelst eines starken gezahnten Eisens fest, das auf einem Balken **16** (Fig. **1**) liegt. Dieser Balken ist an dem einen Ende an den Krahnbalken auf $^2/_3$ seiner Länge durch einen eisernen Bügel und einen Bolzen befestigt, um welchen er sich drehen kann. Das andere Ende liegt auf einer kleinen Walze **27** (Figur **2**), welche sich zwischen den Backen befindet und um ihre Achse beweglich ist, damit die Reibung des auf ihr gleitenden Balkens vermindert wird. Zwischen diesen Backen ist auch eine Art von Messer oder dreikantigem Riegel **17**, welcher den Krahnbalken festhält, indem er in die Zähne der gezahnten Stange eingreift. Dieses Messer, welches in einem der Backen durch einen eisernen Bolzen, um den es sich drehen kann, befestigt ist, wird vermittelst einer vertikalen eisernen Stange **18** (Figur **3**), die außerhalb des andern Backens liegt, durch welchen das Heft des Messers geht,

in Bewegung gesetzt. Diese Bewegung wird durch einen großen eisernen Hebel **20** ausgeführt, der unten an den Backen an dem einen Ende einer horizontalen Achse angebracht ist, welche an dem andern Ende eine Art von Kurbel **10** aufnimmt, die zur Aufnahme eines — an dem Ende der vertikalen Stange **18** angebrachten Knopfes durchbrochen ist. Der Hebel wird festgehalten mit Hülfe zweier Haken a und b (Figur **2**), welche an der Sohlbohle, in der sich unten die Backen befinden, angebracht sind.

Indem man den Hebel von dem Haken rechts nach dem links bewegt, zieht die Kurbel die Stange an, wodurch das Messer in die gezahnte Stange gedrückt und der Krahnbalken alsdann festgehalten wird. So leistet er dann den Dienst eines gewöhnlichen Krahns.

Bewegt man aber im Gegentheil den Hebel von dem Haken links nach dem rechts, so wird durch diese Bewegung eines Theils die Rolle des Krahnbalkens und das Kabeltau gehemmt, andern Theils das in die gezahnte Stange eingreifende Messer gehoben. Dadurch wird der Krahnbalken beweglich und kann mit der Last gehoben oder niedergelassen werden, wobei er sich verlängert oder verkürzt.

Damit der große Hebel zugleich die Stange, welche das Messer hebt, bewegen und die große Kette zum Hemmen der Rolle des Krahnbalkens anziehen kann, hat man an die Achse, welche den großen Hebel und die Kurbel trägt, einen andern kleinen Hebel **21** (Fig. **1**) angebracht, der sich zwischen einer der Backen und der Tragsäule bewegt. Dieser kleine Hebel ist mit einem andern **22** verbunden, der sich an der kleinen Walze befindet, wovon schon die Rede war. An dem letztern Hebel ist ein Gewicht **23**, wodurch die Kette angezogen wird, durch die man die Rolle und das Kabeltau vorn am Krahnbalken hemmt. Es ergiebt sich aus dieser Einrichtung, daß, wenn der große Hebel von dem Haken rechts nach dem links bewegt wird, das Ende der die beiden Hebel verbindenden Kette das Gewicht für das Anziehen der großen Kette hebt. Diese wird alsdann lose genug, damit sich der kleine zweiarmige Hebel vorn am Krahnbalken erheben kann. Dieses Erheben und das Enthemmen der Rolle hierdurch geschieht mit Hülfe eines kleinen Gewichtes, das an eine — an dem andern Ende des zweiarmigen Hebel befestigte Kette gehängt ist. Man mußte diese Ketten, welche die Rolle hemmen und die Hemmung wieder wegnehmen, mit Hülfe von zwei Gewichten wirken lassen, weil nach Maß des Erhebens des Krahnbalkens sich ein Theil der Ketten

auf den Rollen, über die sie an dem untern Ende des Krahnbalkens gehen, abwickelt. Die Spannung der Kette würde vermindert, wenn sie das Gewicht, welches sich senkt, nicht immer gleich und hinreichend erhielte.

Diese Einrichtung, welche in der Beschreibung zusammengesetzt erscheint, gestattet unterdessen die Ausführung mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit, weil es nur darauf ankommt, den Hebel von dem einen Haken nach dem andern hinzubewegen. Wenn der Krahnbalken fest ist, und man will ihn beweglich machen, so reicht es hin, dem beschränktesten Handlanger das Verändern des Hebels zu befehlen, und Alles wird mit der größten Genauigkeit ausgeführt. Es ist von ihm kein Mißgriff zu befürchten, denn er bringt den Hebel, den er an dem einen Haken findet, an den andern. Der Mechanismus ist von der Art, daß wenn er auch den Hebel falsch einhinge, daraus kein Unheil entstände. Wenn ihm selbst der Hebel aus der Hand entwischte und auf dem dritten Theil oder der Hälfte seines zu durchlaufenden Weges bliebe, so würde auch kein Unfall entstehen, weil die Rolle nicht enthemmt werden kann, ohne daß das Messer in die gezähnte Stange eingegriffen hat; es wird nämlich keine Wirkung entstehen, ohne daß sich die entgegengesetzte zu gleicher Zeit bewerkstelligt.

Dieser neue Krahn wird — ungeachtet seiner Vortheile — zu sehr zusammengesetzt zum Gebrauch beim Bauwesen erscheinen; aber man kann, wenn man will, allen Mechanismus, welcher zum Beweglichmachen des Krahnbalkens mit der daran befindlichen Last dient, weglassen. Dann wird er einfacher, weniger kostspielig als die gewöhnlichen Krahne und von einer bessern Dienstleistung, weil man größere Lasten damit heben kann. Auch hat man bei gleicher Krahnbalkenlänge keine so große Höhe des Krahns nöthig, denn man kann jenen durch Löcher, welche sich in dem — ihn tragenden Balken befinden, über einem beliebigen Punkt vor seinem Gebrauch feststellen und zwar mit Hülfe eines starken Bolzens, der durch die Backen geht.

Das Sprossenrad **14**, durch welches dieser Krahn in Thätigkeit gesetzt wird, hat **16** Fuß Durchmesser und die Welle **16** Zoll. Diese Maße sind so, wie sie die Erfahrung als die vortheilhaftesten hat erkennen lassen. Ebenso auch die Zusammensetzung der Holztheile, welche das Rad dauerhaft macht und an die Welle befestigt.

Der Fuß der Tragsäule **1** ist auf einem Holzrahmen von **14** Fuß im Gevierte befestigt. Dieser wird in seinen Ecken durch Bänder **10**

und durch zwei Holzstücke zusammengehalten, die sich in der Mitte durchkreuzen. Hier ist der viereckige Theil der Tragsäule (der Fuß) eingezapft und noch durch vier Streben **3** befestigt. [1]) —

Man fügt bisweilen den Wellen eine Sperrung bei, um das Rad zurückzuhalten, wenn unglücklicherweise das Kabeltau, woran sich die aufsteigende Last befindet, brechen sollte. Man verhindert dadurch, daß sich das Rad nach entgegengesetzter Richtung dreht und daß die Arbeiter mitgerissen oder verwundet werden. Aber ich weiß aus Erfahrung, daß beim Zerreißen eines Taues die Sperrung, welche das Rad plötzlich festhält, einen so heftigen Stoß verursacht, daß die Arbeiter, wenn sie sich auch an das Rad halten, von den Sprossen abgeworfen und in ihrem Fall stark beschädigt werden. Wenn keine Hemmvorrichtung da ist, so erleidet das Rad nur ein Schwanken von einigen Fuß, wodurch es nicht so stark bewegt wird, daß die Arbeiter abgeworfen werden.

Ich habe während der Erbauung der St. Genoveven-Kirche mehrmals Taue brechen und Steine sich aushängen gesehen, indem man sie anzog, um sie auf die Mauer zu legen; aber keiner der Arbeiter, welche sich auf den Rädern der Krahne oder Hebezeuge befanden, wurde verwundet, obgleich nichts da war zum Festhalten dieser Räder. — Es ereignete sich einmal, als ein Stein von mehr als **6000** Pfd. mittelst eines Hebezeugs aufgezogen wurde, und nachdem der Stein über **60** Fuß Höhe erreicht hatte, daß das Kabeltau zerriß. Es waren sieben Arbeiter auf dem Sprossenrad, aber keiner wurde verwundet; es erfolgte nur ein Schwanken von ungefähr **2** Fuß. — Die Last steigt so langsam, daß sie dem Rad keine Geschwindigkeit und Kraft verleihen kann, die hinreichend ist zum Fortreißen der Menschen, wie sich Mehrere vorgestellt haben; denn das Gewicht der Menschen, womit das Rad belastet ist, hält der Last das Gleichgewicht und widersetzt sich dem Fortreißen.

---

1) Es befindet sich ein großes Modell des hier beschriebenen Krahns in der Architektur-Sammlung der königlichen Schule der schönen Künste. Ein anderes kleineres Modell ist auf Kosten des Gouvernements durch das Konservatorium der Künste und Gewerbe ausgeführt worden.

Dritte Abtheilung.

Fundamentirung der Gebäude.

In der Baukunst ist das Fundament eines Gebäudes als der wesentlichste Theil desselben anzusehen, weil dieser Theil allen andern zur Grundlage dient. Von der Art, wie die Fundamente gelegt sind, hängt demnach hauptsächlich die Dauerhaftigkeit ab. Die Fehler oder Vernachlässigungen, welche bei ihrer Ausführung begangen werden, sind oft unverbesserlich, und können das Zusammenstürzen eines Gebäudes oder sonst starke Beschädigungen herbeiführen, welche immer große Unkosten verursachen. —

Das erste Vornehmen bei Aufführung eines Gebäudes ist demnach, die Beschaffenheit des Grundes kennen zu lernen, auf den die Fundamente gelegt werden sollen.

Wenn man in der Nähe des Ortes, wo man ein Gebäude aufführen will, andere Gebäude von derselben Art findet, so untersuche man die Art ihrer Fundamentirung und den Zustand, in welchem sie sich befinden, um zu beurtheilen, ob das dabei angewendete Verfahren das passende ist, und hiernach den Fehlern zu begegnen, welche aus irgend einer Unterlassung oder Vernachlässigung entstanden seyn können; es geschieht dieses auch, um überflüssige Arbeiten zu vermeiden. Außer dieser Belehrung muß man sich noch versichern, ob der Grund, auf welchem man bauen soll, von gleicher Beschaffenheit in seiner ganzen Ausdehnung ist; denn oft ändert er sich auf sehr kleine Entfernungen entweder dadurch, daß er aufgefüllt ist, oder durch andere Umstände. Man muß den Baugrund auch untersuchen, um seine verschiedenen, mit der Oberfläche parallelen Schichten kennen zu lernen. Dadurch

erfährt man ihre verschiedene Höhe und Festigkeit, wovon ein größeres oder geringeres Zusammendrücken durch die Last abhängig ist.

Die den festesten Grund bildenden Erdschichten sind diejenigen, welche nicht zusammengedrückt werden können. Vorzüglich sind dies Felsen, Steinmassen, welche keine Höhlungen haben; dann Kies, steiniger Boden, grober mit Erde vermischter Sand, Tuf, Damm- und sonst feste Erde, welche nicht aufgefüllt worden ist.

Schlecht ist ein Baugrund, wenn er ein bedeutendes Zusammendrücken zuläßt, wie dies bei leichter, lockerer und aufgeschütteter Erde der Fall ist; ferner bei Sumpf-, Schlamm-, Torf- und Erdharz-Boden; auch bei Thon, Triebsand und solchem Sand, in welchem sich Wasserquellen befinden. Eine sehr wesentliche Bemerkung ist es, daß die guten und schlechten Erdschichten sich in jeder Tiefe des Bodens befinden, und daß es nicht die größere oder geringere Tiefe der Fundamente ist, wodurch man eine größere oder geringere Festigkeit erhält. —

Vitruv spricht in mehreren Stellen seines Werks von den Vorsichtsmaßregeln, welche man zur festen Grundlegung der Gebäude nehmen muß.

Unter andern Stellen im **5.** Kapitel des **1.** Buchs — bei Gelegenheit der Mauern und Thürme, welche den Umfang einer Stadt bilden — findet man folgende:

„Dann verfährt man beim Legen der Fundamente für die Mauern und Thürme auf folgende Art: Man macht einen Graben so tief, bis man auf festen Grund kommt (wenn man solchen finden kann), und selbst noch in diesen hinein, und giebt ihm eine der Größe des Werks verhältnißmäßige Ausdehnung. Die Fundamente müssen eine größere Dicke haben als die Mauern, welche darauf errichtet werden sollen. Bei der Ausführung jener füllt man den Graben mit Mauerwerk, welches so solid als möglich ausgeführt wird.“ [1])

Weiter sagt er im **3.** Kapitel des **3.** Buchs, wo von den Tempeln die Rede ist:

„Man vertieft die Fundamente bis auf den festen Grund oder noch in denselben hinein (wenn man solchen finden kann), und giebt

---

1) *De fundamentis murorum et turrium* (Lib. I, Cap. V.).

Tunc turrium murorumque fundamenta sic sunt facienda, uti fodiantur (si queat inveniri) ad solidum, et in solido, (quantum ex amplitudine operis pro ratione videatur), crassitudine ampliore, quam parietum, qui supra terram sunt futuri; et ea impleantur quam solidissima structura.

dem Mauerwerk, welches man auf die Sohle des Grabens legt, eine Dicke, wie man sie im Verhältniß zum Werk für nöthig erachtet. Dieses möglichst solid ausgeführte Mauerwerk muß sich über die ganze Anlage des Werks erstrecken.»

„Auf dieses Fundament, dessen obere Fläche mit der des Bodens in gleicher Ebene liegt, setzt man die Mauern, welche die Säulen tragen sollen. Die Dicke dieser Mauern muß $1^1/_2$ mal der Durchmesser des untern Theils der Säulen seyn, damit dieselben — von den Griechen Stereobata (wegen der zu tragenden Belastung) genannt — noch groß genug zur Aufnahme der Ausladung des Fußes ist.»

„Dieselbe Vorsicht beobachte man bei den Mauern des Tempels. Die Zwischenräume derselben sind gewölbt oder mit Erde ausgefüllt, die mit einer Ramme festgestampft ist.»

„Wenn man aber beim Ausgraben bis zu einer gewissen Tiefe — statt auf festen Grund — auf lockern oder sumpfigen stößt, so muß man, nachdem die Erde weggeschafft ist, Pfähle von Erlen-, Oliven- oder hartem Eichenholz einsetzen, das untere Ende derselben aber zuvor etwas anbrennen. Sie werden ganz nahe an einander vermittelst Maschinen eingerammt und in ihren Zwischenräumen mit Kohlen ausgefüllt. Dann errichtet man darauf das Mauerwerk, wie es zur Bildung sehr dauerhafter Fundamente bewerkstelligt wird. Auf diese — der Oberfläche des Bodens gleichgemachten Fundamente setzt man die Säulenstühle für die zu tragenden Säulen, so wie es im Vorstehenden schon angezeigt worden ist.» [1])

---

1) *De fundamentis templorum* (Lib. III, Cap. III.).

Fundationes eorum operum fodiantur si queat inveniri ad solidum, et in solido, quantum ex amplitudine operis pro ratione videbitur; extruaturque structura per totum solum quam solidissima.

Supraque terram parietes extruantur sub columnis dimidio crassiores quam columnae sunt futurae, uti firmiora sint inferiora superioribus; quae stereobatae appellantur, nam excipiunt onera. Spirarumque projecturae non procedant extra solidum.

Item supra parietis ad eundem modum crassitudo servanda est: intervalla autem concameranda aut solidanda fistucationibus, uti distineantur.

Sin autem solidum non invenietur, sed locus erit congestitius ad imum aut palustor, tunc is locus fodiatur exinaniaturque, et palis scaligneis aut oleagineis, aut robusteis ustulatis configatur, sublicaeque machinis adigantur quam creberrimae, carbonibusque expleantur intervalla palorum, et tunc

Ferner lehrt Vitruv im 3. Kapitel des 5. Buchs, wo von den Theatern die Rede ist:

„Wenn das Theater auf einer erhabenen Stelle aufgeführt werden soll, so ist das Legen des Fundaments sehr leicht. Nöthigen aber besondere Umstände, es auf einen niedrigen oder sumpfigen Boden zu setzen, so muß man, damit das Fundament solid wird, das Verfahren befolgen, welches wir im 3. Buch angeführt haben, wo von dem Legen der Tempelfundamente die Rede ist.“ [1])

Endlich im 11. Kapitel des 6. Buchs, wo er umständlich von der Stabilität und den Fundamenten der Gebäude spricht, drückt er sich folgendermaßen aus:

„Sind die Gebäude, welche man über der Erde errichtet, aufgeführt worden, wie wir es in den vorhergegangenen Büchern erklärt haben, wo von den Mauern und Theatern die Rede war, so ist es kein Zweifel, daß sich diese Gebäude bis in die späteste Zeit dauerhaft erhalten. Führt man unterirdische Bauten und Gewölbe aus, so müssen dieselben eine größere Dicke erhalten als die darauf befindlichen Theile. Die Mauern, Stützpunkte und Säulen der oberen Stockwerke müssen senkrecht über der Mitte der untern Theile errichtet werden, damit die festen Theile einander entsprechen. Denn wären Mauern und Säulen nicht gehörig unterstützt, so würden sie keine Dauer haben. Außerdem ist es passend, zu lange Thürstürze oder Querriegel durch Gewölbbogen über ihnen tragfähiger zu machen; denn belastet man die Stürze oder Querriegel zu sehr, so biegen sie sich in der Mitte und verursachen Ausbrüche und Spalten in den Bautheilen, welche sie tragen. Aber mit Hülfe von Gewölben in Dreiecksform (Figur 1, Tafel CLXXVI), welche man unter den Bautheilen errichtet, leiden diese keinen Schaden, und die Hölzer sind weniger belastet. Man kann diese Hölzer auch mit dem Mauerwerk selbst überwölben, indem man Bogen von Gewölbsteinen macht, deren Fugen nach dem Mittelpunkt

---

structuris solidissimis fundamenta implcantur. Extructis autem fundamentis ad libramentum, stylobatae sunt collocandae. Supra stylobatas columnae disponendae, quemadmodum supra scriptum est.

1) *De fundamentis theatrorum* (Lib. V, Cap. III.).

Fundamentorum autem, si in montibus fuerit, facilior erit ratio; sed si necessitas coegerit in plano aut palustri loco ea constitui, solidationes substructionesque ita erunt faciendae quemadmodum de fundationibus aedium sacrarum in tertio libro est scriptum.

gerichtet sind. Da die ersten Gewölbsteine des Bogens außerhalb der Enden der Sturzbalken liegen, so sind diese von dem Bogen eingeschlossen und dadurch von der Last befreit, weßhalb sie sich nicht mehr biegen können. Wenn sie überdieß in der Folge durch das Alter untauglich geworden sind, können sie, ohne daß man zu stützen braucht, gewechselt werden."

„Man errichtet auch Gebäude auf Pfeilern, die mit Steinen überwölbt sind, deren Fugen nach dem Mittelpunkt der Gewölbbogen gehen. Alsdann ist es nöthig, daß die Pfeiler an den Enden (Fig. 2) breiter sind als die andern, damit sie die nöthige Stärke haben, um dem Druck der Gewölbe, die mit Mauerwerk belastet sind, zu widerstehen. Da nämlich die mittlern Gewölbsteine bloß in ihren Fugen gehalten werden und die Richtungen derselben sich in dem Mittelpunkt des Bogens vereinigen, so drücken jene auf die Kämpfer oder untersten Gewölbsteine, und die Eckpfeiler werden daher diesen Druck nur aushalten und dem Bau die gehörige Stabilität gewähren, wenn sie aus einer hinreichend großen Masse bestehen."

„Ist auf alle diese Gegenstände die nöthige Sorgfalt verwendet worden, so muß man auch mit derselben Sorgfalt darauf sehen, daß alle vertikalen Theile des Gebäudes genau senkrecht — und sich nicht auf irgend eine Seite neigend — aufgeführt werden."

„Besonders muß man große Aufmerksamkeit auf die Bekleidungsmauern, die an Erdwerke angelehnt werden, verwenden, weil sie unzähligen nachtheiligen Einflüssen ausgesetzt sind. Diese Erdwerke üben nämlich nicht immer einen Druck aus, der dem im Sommer gleich ist; denn der sie im Winter durchdringende Regen vermehrt ihren Raum und ihren Druck, wodurch der Mauerbau, welcher zu ihrer Stütze dient, Schaden leidet und dem Umsturz ausgesetzt wird."

„Es soll hier angeführt werden, wie man diesen Nachtheilen begegnen kann. — Zuerst bestimme man die Dicke der Bekleidung im Verhältniß zum Inhalt der zu stützenden Erde. Dann vertheile man auf jeder Linie Strebepfeiler, welche mit der Mauer zugleich gebaut werden. Die Entfernung derselben von einander ist der Höhe der Bekleidung gleich, und ihre Dicke ist einerlei mit der Dicke, welche diese Bekleidungsmauer hat."

„Diese Strebepfeiler haben unten eine größere Dicke als die Bekleidungsmauer, verjüngen sich jedoch so, daß ihre obere Dicke gleich ist der Dicke derselben (Figur 3)."

„Außer diesen Strebepfeilern baut man nach dem Innern zu — ebenfalls um die Erde zu stützen — Mauertheile, die sägeförmig angelegt sind, und eine Länge gleich der Höhe der Bekleidung und eine Dicke gleich der Dicke derselben haben. Um diese Verstärkung an einer Ecke durch eine Diagonalmauer zu bilden, zieht man als äußere Fläche derselben eine Linie, welche sich an die Schenkel des innern Winkels der Ecke an den Punkten anschließt, deren Abstand von der Winkelspitze gleich der Mauerhöhe ist. Von der Mitte dieser Mauer aus errichtet man eine andere, welche bis in die Ecke hingeführt ist.

„Diese Anlage der Mauern in der Diagonale an den Ecken und in Form von Sägezähnen an den Seiten verhindert durch das Theilen der Erde, daß die ganze Kraft ihres Drucks gegen die Bekleidungsmauer wirkt.»

„In diesem Kapitel beabsichtigte ich, eine Unterweisung in den Mitteln zur guten Ausführung von großen Bauten zu geben und auf die Fehler aufmerksam zu machen, welche dabei zu vermeiden sind. Was die Dächer und Decken betrifft, so erfordern sie nicht die nämlichen Vorsichtsmaßregeln, weil man die fehlerhaften Theile, welche sich dabei befinden möchten, leicht verbessern kann. Deßwegen bringt man sie auch nicht in die Klasse der festen Bauten, von denen wir soeben in Bezug auf die Mittel, sie dauerhaft zu machen, gesprochen haben.»

„Was die Art der zu wählenden Materialien betrifft, so hängt dies nicht immer von den Architekten ab, weil man nicht, wie schon im vorhergegangenen Buche bemerkt worden ist, überall die nämlichen Materialien findet.»

„Außerdem steht es dem Bauherrn frei, Back-, Bruch- oder Hau-Steine zu nehmen.»

„Demnach kann man die Urtheile, welche man über alle Arten von Werken fällt, aus drei verschiedenen Gesichtspunkten betrachten, nämlich: aus dem der Feinheit der Arbeit, der Pracht und der Anordnung.»

„Wenn man ein Werk mit Pracht ausgeführt sieht, so setzt die Größe der Kosten in Erstaunen. Wird dabei Feinheit der Arbeit bemerkt, so bewundert man die Geschicklichkeit des Arbeiters. Ist aber das Werk würdig, als Muster in Bezug auf Schönheit, richtiges Verhältniß und Anordnung aller seiner Theile angeführt zu werden, so gründet es den Ruhm des Architekten.»

„Um hierzu zu gelangen, dürfen die Architekten die Rathschläge der Handwerker und Privatpersonen nicht verschmähen; denn sie sind nicht die Einzigen, welche die Güte einer Sache beurtheilen können. Uebrigens besteht zwischen Privatpersonen und Architekten der Unterschied, daß die Erstern nur über ein ausgeführtes Werk urtheilen können, — dagegen die Letztern, sobald sie nur den Plan zu demselben begriffen haben, sich schon eine Vorstellung von seiner Schönheit, seinem Gebrauch und seiner Bequemlichkeit zu machen im Stande sind, ehe dasselbe noch angefangen ist, — gerade so als wäre es vollendet.»

„Nachdem ich in diesem Buche so klar, als es mir möglich war, die Gegenstände beschrieben habe, welche mir an Privatgebäuden nützlich zu seyn schienen, will ich im Folgenden von dem Ueberzug, Bewurf oder Anwurf sprechen, indem ich die Fehler anführe, welche man vermeiden muß, damit er schön und dauerhaft wird.» [1])

---

1) *De firmitate et fundamentis aedificiorum* (Lib. VI, Cap. XI).

Aedificia quae plano pede instituuntur, si fundamenta eorum facta fuerint ita, ut in prioribus libris de muro et theatris a nobis est expositum, ad vetustatem ea erunt sine dubitatione firma. Sin autem hypogea concamerationesque instituentur, fundationes eorum fieri debent crassiores quam quae in superioribus aedificiis structurae sunt futurae, eorumque parietes, pilae, columnae ad perpendiculum inferiorum medio collocentur, uti solido respondeant. Nam si in pendentibus onera fuerint parietum aut columnarum, non poterunt habere perpetuam firmitatem. Praeterea inter limina secundum pilas et antas, postes si supponentur, erunt non vitiosae: limina enim et trabes structuris cum sint oneratae, medio spatio pandantes, frangunt sublisae structuras. Cum autem subjecti fuerint et subcuneati postes, non patiuntur insidere trabes, neque eas laedere. Item administrandum est, uti levent onus parietum fornicationes cuneorum divisionibus et ad centrum respondentes earum conclusurae: cum enim extra trabes, aut liminum capita arcus cuneis erunt conclusi, primum non pandabit materies levata onere; deinde si quod e vetustate vitium ceperit, sine molitione fulturarum faciliter mutabitur.

Itemque pilatim aguntur aedificia et cuneorum divisionibus, coagmentis ad centrum respondentibns, fornices concluduntur, extremae pilae in his latiores spatio sunt faciendae, uti vires eae habentes resistere possint, cum cunei ab oneribus parietum pressi per coagmenta ad centrum se prementes extrudunt incumbas. Itaque si angulares pilae erunt spatiosis magnitudinibus, continendo cuneos firmitatem operibus praestabunt.

Cum in his rebus animadversum fuerit uti ea diligentia in his adhibeatur, non minus etiam observandum est, uti omnes structurae perpendiculo respondeant, neque habeant in ulla parte proclinationes.

Die Stellen des Vitruv, welche ich ſoeben angeführt habe — und vorzüglich dieſes letzte Kapitel — ſchließen das Weſentlichſte über die zu ergreifenden Vorſichtsmaßregeln in ſich, um den Gebäuden eine gehörige Feſtigkeit zu geben; deßwegen habe ich das ganze letzte Kapitel überſetzt. Es ſcheint, daß aus dieſer Quelle alle Schriftſteller geſchöpft haben, die nach ihm über die Baukunſt ſchrieben, wie: Leon-Baptiſt Alberti, Scamozzi, Philibert Delorme, die hernach wieder von unzähligen Andern abgeſchrieben worden ſind. —

Maxima autem esse debet cura substructionum, quod in his infinita vicia solet facere terrae congestio: ea enim non potest esse semper uno pondere, quo solet esse per aestatem; sed hibernis temporibus recipiendo ex imbribus aquae multitudinem, erescens et pondere et amplitudine disrumpit et extrudit structurarum septiones.

Itaque ut huic vitio medeatur, sic erit faciundum, uti primum pro amplitudine congestionis crassitudo structurae constituatur; deinde in frontibus anterides sive erismae sint una struantur, eaeque inter se distent tanto spatio, quanta altitudo substructionis est futura, crassitudine eadem qua substructio.

Procurrant autem ab imo per quam crassitudo constituta fuerit substructionis, deinde contrahantur gradatim ita, uti summam habeant prominentiam quanta operis est crassitudo.

Praeterea introrsus contra terrenum uti dentes conjuncti murro serratim struantur, uti singuli dentes ab muro tantum distent, quanta altitudo futura erit substructionis: crassitudines autem habeant dentium structurae uti muri. Item in extremis angulis cum recessum fuerit ab interiore angulo spatio altitudinis substructionis, in utramque partem signetur, et ab his signis diagonios structura collocetur; et ab ea media altera conjuncta cum angulo muri.

Ita dentes et diagoniae structnrae non patientur tota vi premere murum, sed dissipabunt retinendo impetum congestionis.

Quemadmodum opera sine vitiis opporteat constitui, et uti caveatur incipientibus exposui; namque de tegulis aut tignis aut asseribus immutandis non eadem est cura, quemadmodum de his; quod ea quamvis sint vitiosa, faciliter mutantur. Itaque nec solida quidem putantur esse, quibus rationibus haec poterunt esse firma, et quemadmodum instituantur, exposui.

Quibus autem copiarum generibus oporteat uti, non est architecti potestas; ideo quod non in omnibus locis omnia genera copiarum nascuntur, uti in proximo volumine est expositum.

Praeterea in domini est potestate, utrum lateritio, an cementitio, an saxo quadrato velit aedificare.

Itaqne omnium operum probationes tripartito considerantur, id est fabrili subtilitate, magnificentia et dispositione.

Die Figur 4 stellt den Grundriß eines Theils der antiken Terrassen-Mauer der Stadt Adrienne bei Tivoli dar. Sie stützt eine große Esplanade, die mit Säulenhallen umgeben und mit dem Namen Pöcile bezeichnet war. An diese Mauer, deren größte Höhe 50 Fuß beträgt, sind Quartiere angelehnt, welche von der prätorianischen Garde bewohnt waren. Die Decke dieser Quartiere diente den obern Säulenhallen zur Grundlage. In der Masse dieser Mauer sind halbkreisförmige gewölbte Nischen BB von 14 bis 15 Fuß Durchmesser und erleichtern dadurch dieselbe. Diese Nischen haben eine doppelte Mauer mit Zwischenräumen CC vor sich, um dadurch die hintere Wand der Quartiere oder Zimmer zu trennen und vor Feuchtigkeit zu bewahren. Die Quartiere, welche wegen ihrer Anzahl die Hundert-Zimmer heißen, bilden zwei gewölbte Stockwerke über einander. Jedes der Zimmer EE hat 18½ Fuß Länge und 14½ Fuß Breite. Sie sind durch massive Mauern, welche für die Terrassen-Mauer die Strebepfeiler bilden, von einander getrennt, und haben nur einen Eingang auf der Vorderseite und sind von einem Pfeiler zum andern mit Tonnengewölben überbaut. Jedes der Zimmer entspricht einer der Nischen, welche in der Mauer angebracht sind. Ihre zwei Reihen übereinander bildeten vier Stockwerke mit Hülfe von Zwischenböden, die von Kragsteinen, welche noch da sind, getragen wurden.

Cum magnificenter opus perfectum aspicietur a domini potestate, impensae laudabuntur cum subtiliter, officinatoris probabitur exactio: cum vero venustate, proportionibus et symetriis habuerit auctoritatem, tunc fuerit gloria architecti.

Haec autem recte constituuntur, cum is et a fabris, et ab idiotis patiatur accipere se consilia. Namque omnes homines, non solum architecti, quod est bonum possunt probare, sed inter idiotas et eos hoc est discrimen, quod idiota nisi factum viderit, non potest scire, quid futurum sit; architectus autem simul animo constituerit, antequam inceperit, et venustate et usu et decore quale sit futurum, habet definitum.

Quas res privatis aedificiis utiles putavi, et quemadmodum sint faciundae, quam apertissime potui perscripsi. De expolitionibus autem eorum, ut sint elegantes, et sine vitiis ad vetustatem, in sequenti volumine exponam.

Erstes Kapitel.

Von den Fundamenten in schlechtem Grund.

Erster Artikel. — Erfahrungen über die Kraft des Stoßes der Körper in Bezug auf das Feststampfen von preßbarem Grund.

Es ist im 2. Buch des 2. Bandes auf Seite 15, wo von dem Bauen mit Hausteinen die Rede ist, gesagt worden, daß man dieses Bauen als eine Verbindung schwerer Körper ansehen könne, die sich wechselseitig in einem Zustand der Ruhe mit Stabilität erhalten. Dasselbe findet statt bei jeder Art von Mauerwerk. Alles, was demnach seine Stabilität vermindert, macht es weniger stark und führt sein Verderben herbei.

Bei allen Gebäuden giebt es zwei Ursachen, die zerstörend wirken; nämlich das Setzen oder Senken, und der schiefe Druck oder Schub; beide entstehen aus der Schwere. Im ersten Falle wirken die Körper vertikal mit ihrem ganzen Gewicht, und pressen die sie unterstützenden Körper, oder drücken sie zusammen, oder zerquetschen sie bisweilen.

In dem zweiten Fall, wo die Schwere nicht frei nach ihrer natürlichen Richtung wirken kann, sucht sie die Hindernisse zu entfernen, welche ihr entgegen sind.

Die Senkung oder das Setzen entsteht aus der vertikalen Wirkung der Schwere auf Stoffe, welche zusammengedrückt werden können, wie es bei dem größten Theil des Baugrundes, bei dem Mörtel, dem Gyps und bei andern Stoffen, die zur Verbindung der Steine beim Mauerwerk dienen, der Fall ist.

Die Schwere, durch welche die Senkung verursacht wird, wirkt im umgekehrten Verhältniß der Ausdehnung der Grundflächen. Die

Wirkung eines Gewichts von **1200** Kilogramme auf eine Quadratfläche von **1** Meter Seite ist demnach **4** mal so groß als die, welche dasselbe Gewicht auf eine Quadratfläche von **2** Meter Seite ausübt. Daraus folgt, daß diese Wirkungen bei ähnlichen Flächen sich wie umgekehrt die Quadrate der ähnlich liegenden Seiten verhalten, so daß, wenn die Flächen Kreise sind, sich die Wirkungen, denen sie Widerstand leisten müssen, wie umgekehrt die Quadrate ihrer Halbmesser oder Durchmesser verhalten.

Was die Senkung anbelangt, die von der Verschiedenheit des Bodens herrührt, auf welchem die Fundamente errichtet werden müssen, so hängt dieselbe von dem Grad der Preßbarkeit des Bodens ab; denn ein Boden, der keiner Pressung fähig wäre — wie der aus Felsen oder Steinbruchmassen bestehende — würde keine Senkung erleiden.

Bei preßbarem Grund ist es weniger die Senkung als die Ungleichheit derselben, welche gefährlich wird, weil diese Ungleichheit Ausbrüche und Spalten verursacht, die den Einsturz eines Gebäudes herbeiführen können. Zur Vermeidung dieses Nachtheils muß man die Grundfläche der Fundamente der Mauern oder Stützpunkte im Verhältniß ihrer Belastung ausdehnen. Der größte Theil der Unfälle, welche sich bei großen und bei gewöhnlichen Gebäuden ereignen, rührt daher, daß die Fundamente der Stützpunkte, welche **2** bis **3** mal so viel tragen als die benachbarten Theile, bisweilen weniger Grundfläche einnehmen, wodurch sie einer größern Senkung ausgesetzt sind. —

Da das Setzen des Grundes in weiter nichts besteht, als in der größern Annährung seiner Theile durch die Wirkung der Belastung, so kann man demselben dadurch begegnen, daß man den Grund mit einer Ramme stampft, d. i. mit einem unten beschlagenen Klotz, der ungefähr **100** Pfd. wiegt und von **2** Mann gehoben wird. Auf diese Art sah ich es mit Erfolg von einem geschickten Baumeister ausführen, welcher dieses Mittel dem Pfahlrost mit Balkenbeleg bei einem Grund vorzog, dessen Festigkeit zweifelhaft war.

Um sich von diesem Verfahren eine Vorstellung zu machen, muß man wissen, daß die Belastung durch eine Mauer von **60** Fuß Höhe und **18** Zoll Dicke auf **1** Q. Fuß Grundfläche ungefähr **8000** Pfd. [1]) beträgt,

---

1) Ist der Inhalt eines Körpers = V Kubikfuß, sein specifisches Gewicht = β, der Kubikfuß Wasser = 70 Pfund; so folgt das Gewicht des Körpers, nämlich

und daß diese Belastung mit Dach und Decken nicht bis zu **10000** Pfd. steigt. Da aber die Dicke des Fundaments immer **1** Fuß mehr beträgt, so reduzirt sich der Druck bei **1** Quadratfuß der Grundfläche des Fundaments auf ungefähr **6000** Pfund. Dies ist auch nahe die Wirkung, welche der Rammklotz, von dem die Rede war, hervorbringen kann. Die Menge der Stöße muß im Verhältniß mit dem Widerstand des Bodens seyn, und es ist gut, wenn die erste Steinschichte von Bruchsteinen oder Grundquadersteinen, die auf dem vorher gestampften und nivellirten Grund gesetzt ist, zuletzt noch gestampft wird. —

Dieser Umstand, den Boden durch Stampfen fester zu machen, und die Nothwendigkeit, die Gewalt des Stoßes bei mehreren andern Gelegenheiten, wenn der Körper von verschiedener Höhe herunterfällt, kennen zu lernen, haben mich veranlaßt, Versuche zu wiederholen, die ich schon mehrmals gemacht hatte, ohne daß ich zuverlässige Resultate daraus herleiten konnte, weil die durch den Stoß verursachte Rückwirkung nicht erlaubte, den genauen Werth einer Kraftäußerung aufzufassen, welche — so zu sagen — keine Dauer hat.

Nachdem ich aus unzähligen Versuchen das Unzureichende dieser Mittel, und auch mehrerer andern — wie die Wagschalen und Hebel — von verschiedenen Schriftstellern, erkannt hatte, stellte ich mir vor, daß der Dynamometer, welcher von Regnier, Vorsteher des Depots und des Archis der Artillerie zu Paris, angegeben worden ist, mehr sichere Resultate geben könnte, weil sich die Kraftäußerung unmittelbarer bei diesem Instrument bemerkbar macht, und weil der plötzliche Eindruck, den es erfährt, in demselben Augenblick von einer Nadel angezeigt wird, die auf einem Punkt der Eintheilung, um die Kraftäußerung anzudeuten, stehen bleibt. Dieses Instrument ist durch Figur **4** bis auf Tafel **CLXXVI** dargestellt.

$$\left.\begin{array}{r} P = 70\beta V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \\ \text{Beim Mauerwerk ist im Durchschnitt } \beta = 1{,}9 \\ V = 60 \text{ Kub. Fuß} \quad . \quad . \quad . \end{array}\right\}; \text{ (folglich)}$$

$$P = 70 \,.\, 1{,}9 \,.\, 60 = 7980 \text{ Pfund.}$$

(Pariser Maß und Gewicht.)

Bei dem neuen französischen Maß und Gewicht (auch bei dem darauf basirten Großherzoglich Hessischen) ist diese Rechnung sehr einfach. 1 Kubik-Decimeter Wasser wiegt nämlich 1 Kilogramme, oder 1 Kubik-Zoll (Hess.) = 1 Loth (Hess.).

Anmerk. d. Uebersetzers.

Die Versuche wurden auf zwei Arten ausgeführt und gaben ungefähr gleiche Resultate.

Nach der ersten Art hing man eine Wagschale an den Dynamometer auf einen Abstand — etwas größer als die Höhe, von welcher der Körper fallen sollte. An denselben Punkt hing man auch den Körper vermittelst eines sehr dünnen Fadens und in einer bestimmten Höhe über der Wagschale. Man brannte hierauf den Faden durch, um keine Bewegung zu veranlassen, welche die vertikale Richtung stören konnte, da der Körper doch derselben folgen mußte, um auf die Wagschale zu fallen.

Bei der zweiten Art ließ man die Schale weg und befestigte den Körper an einen Faden, der etwas länger war als die Höhe, von der er fallen sollte. Man erhob hierauf den Körper und hing ihn vermittelst eines zweiten — weit dünnern Fadens auf, so daß der Unterschied in der Länge dieser beiden Fäden der Höhe des Falles gleich war. Man brannte den dünnen Faden durch, und der von dem dicken Faden am Ende des Falles fest gehaltene Körper theilte dem Dynamometer, an den er befestigt war, denselben Eindruck mit als auf einer Wageschale. Bei der ersten Art zog man von dem Eindruck des Stoßes, der durch die Nadel angezeigt wurde, das Gewicht der Wageschale ab; bei der zweiten nahm man den Eindruck ohne Abzug an.

Die Versuche, welche man auf Höhen unter **15** Fuß nach der ersten Art anstellte, gaben größere Resultate als bei der zweiten; aber auf größere Höhen gaben beide Arten ungefähr dieselben Resultate.

Diese Versuche wurden mit eisernen Kugeln von drei verschiedenen Durchmessern gemacht. Die erste wog **9** $^1/_2$ Pfund oder **4** Kilogramme und **650** Gramme; die zweite wog **6** $^1/_4$ Pfund oder **3** Kilogramme und **60** Gramme; die dritte **3** $^3/_4$ Pfund oder **1** Kilogramm und **840** Gramme.

Ich machte anfangs mehrere vorbereitende Versuche, um das schicklichste Mittel zur Anwendung des Dynamometers kennen zu lernen. Diese ersten Versuche belehrten mich, daß es schwer sey, die Größe des Stoßes zu bestimmen, der aus einer Fallhöhe unter $^1/_2$ Meter entsteht. Nur nach den von Meter zu Meter angestellten Versuchen konnte ich Resultate erhalten, die hinreichend genau waren, um mit der Theorie verglichen zu werden.

Nachdem ich von **1** bis zu **20** Meter eine große Menge Versuche angestellt hatte, welche Resultate gaben, die mehr oder weniger von dem durch die Theorie angegebenen Gesetz abwichen, nahm ich zur Aufstellung der folgenden Tabellen das mittlere Resultat aus den auf **5** Meter Höhe angestellten Versuchen, weil diese am wenigsten von einander verschieden waren. Ich habe die Resultate der Rechnung, die mit den Versuchen übereinstimmen, mit Sternchen bezeichnet.

Bei Berechnung dieser Tabellen fand ich, daß — wenn sich die verschiedenen Größen des Stoßes bei einerlei sie erzeugendem Körper wie die auf einander folgenden natürlichen Zahlen **1, 2, 3** . . verhalten — die Quadrate dieser Zahlen, welche der Theorie nach die verschiedenen Fallhöhen ausdrücken müssen, sehr nahe **1** Linie oder $2^1/_4$ Millimeter zur Einheit haben. Demnach würde ein Stoß gleich dem **10** fachen Gewicht des Körpers einer Fallhöhe von **100** Linien entsprechen, ein **20** mal so großer Stoß einer von **400** Linien und ein **30** mal so großer einer Fallhöhe von **900** Linien oder **6** Fuß **3** Zoll.[1]) Da indessen der Luftwiderstand die Kraft des Stoßes bei größerer Fallhöhe auch mehr vermindert, so habe ich durch neue Versuche auszumitteln gesucht, um wie viel man die Fallhöhe vermehren muß, damit Größen für den verschiedenen Stoß erhalten werden, welche genau nach der Reihe der natürlichen Zahlen zunehmen, die das Gewicht des Körpers zur Einheit haben. Ich fand, daß für einen Stoß gleich dem **38** fachen Gewicht die Fallhöhe **1588** Linien (**11** Fuß **4** Linien)

---

1) Zwei Körper vom Gewicht . . . P, p
fallen von der Höhe . . . . . H, h
und haben am Ende die Geschwindigkeit . . C, c
und die Stoßkräfte das Bewegungsvermögen S, s
} ; (folglich)

$S : s = PC : pc$ . . . . . .
$C = 2\sqrt{gH}$, $c = 2\sqrt{gh}$
(g ist der Weg in der 1. Sek. des Falls = 15,1 Par. Fuß)
} ; $S : s = 2P\sqrt{gH} : 2p\sqrt{gh}$;

$S : s = P\sqrt{H} : p\sqrt{h}$. (1)
Wenn der Körper derselbe ist, also $P = p$ . . . } ;

$S : s = \sqrt{H} : \sqrt{h}$; $S^2 : s^2 = H : h$.

Also die Höhen verhalten sich wie die Quadrate der Stoßkräfte.

(1); $S : s = P\sqrt{H} : p\sqrt{h}$
p = 1 Kilogr., h — 1 Lin.;
s die Einheit der Stoßkraft.
} ; $S = P\sqrt{H}$
H = 900 Linien } ; $S = 30$ P.

Anmerk. d. Uebers.

seyn muß — statt **1444** Linien (**10** Fuß **4** Linien), die man nach der Theorie erhält, indem man von dem Luftwiderstand absieht. Jene Höhe ist also um **1** Fuß größer als diese; beim Stoß gleich dem **80** fachen Gewicht ist der Unterschied ungefähr **5** Fuß.

Ungeachtet der großen Anzahl von Versuchen und Rechnungen, welche ich ausgeführt habe, um zu den in diesen Tabellen enthaltenen Resultaten zu gelangen, gebe ich sie doch nur als eine Annäherung, und neue Versuche von gelehrtern Männern können sie vervollkommnen. Ich habe mich indessen zur Bekanntmachung dieser Tabellen entschlossen, weil ich sie zum gewöhnlichen Gebrauch für hinreichend halte, weil mir keine Tabelle dieser Art bekannt ist und weil sie in der Baukunst von sehr großem Nutzen seyn können.

Erste Tabelle, welche die verschiedenen Höhen angiebt, von denen ein Körper fallen muß, damit die Stoßkräfte eine arithmetische Reihe bilden, deren Differenz dem Gewicht dieses Körpers gleich ist.

(Fallhöhen in Millimeter.)

In der mit A bezeichneten Spalte ist die Reihe der natürlichen Zahlen enthalten, aus denen man die Stoßkräfte herleitet, indem man das Gewicht des Körpers mit jedem dieser Glieder multiplicirt.

Die Spalte B enthält die Quadrate der Zahlen in der vorhergehenden Spalte. Die Quadrate drücken der Theorie nach die durchlaufenen Wege aus, bei welchen man 1 Linie oder 2,255831 Millimeter als Einheit zu nehmen hat.

Die Spalte C giebt die nach der Erfahrung gefundenen Wege an, damit die Stoßkräfte nach dem Verhältniß der in der Spalte A stehenden Zahlen zunehmen.

Die Spalte D drückt die Kraft des Stoßes für eine eiserne Kugel von 4650 Gramme Gewicht aus.

Die Spalte E enthält die Kraft des Stoßes für eine eiserne Kugel von 3060 Gramme.

Die Spalte F endlich giebt sie für eine eiserne Kugel von 1840 Gramme Gewicht an.

A	B	C	D	E	F
	Millimeter	Millimeter	Kilogramme	Kilogramme	Kilogr.
1	2.25	2.25	4.65	3.06	1.84
2	9.02	9.46	9.30	6.12	3.68
3	20.31	21.62	13.95	9.18	5.52
4	36.10	38.80	18.60	12.24	7.36

A	B	C	D	E	F
	Millimeter	Millimeter	Millimeter	Kilogramme	Kilogr.
5	56.39	60.90	23.25	15,30	9.20
6	81.21	87.97	27.90	18.36	11.04
7	110.53	120 23	*32.55	*21.42	*12.88
8	144.37	157.24	37.20	24.48	14.72
9	182.73	198.98	41.85	27.54	16.56
10	225.58	246.33	46.50	30.60	18.40
11	272.95	298.22	51.15	33.66	20.24
12	324.84	355.28	55.80	36.72	22.08
13	381.23	417.10	60.45	39.78	23.92
14	442.14	484.10	*65.10	*42.84	*25.76
15	507.57	556.05	69.75	45.90	27.60
16	577.49	632.75	74.40	48.98	29.44
17	651.93	714·64	79.05	52.02	31.28
18	730.81	801.50	83.70	55.08	33.12
19	814.35	893.31	88.35	58.14	34.96
20	901.33	990.00	93.00	61.20	36.80
21	994.83	1091.82	*97.65	*64.26	*38.64
22	1091.80	1198.51	102.30	67.32	40.48
23	1193.33	1310.18	106.95	70.38	42.32
24	1299.36	1426.81	111.60	73.44	44.16
25	1409.79	1548.62	116.25	76.50	46.00
26	1524.94	1674.98	120.90	79.50	47 84
27	1644.31	1806.50	125,55	82.62	49.68
28	1768.37	1942.98	130.20	85.68	51.52
29	1896.95	2084.44	134.85	88 74	53.36
30	2029.85	2230.84	*139.50	*91.80	*55.20
31	2165.20	2382.41	144.15	94.86	57.04
32	2309.77	2538.97	148.80	97.92	58.88
33	2456.41	2600.69	153.45	100.98	60.72
34	2607.74	2866.94	158.10	104.04	62.56
35	2763.39	3038.18	*162.75	*107.10	*64.40
36	2923.36	3214.37	167.40	110.16	66.24
37	3088.03	3395.93	172 05	113.22	68.08
38	3257.42	3522.26	*176.70	*116.28	*69.92
39	3431.13	3772.90	181.35	119.34	71.76
40	3609.33	3969.82	186.00	122.40	73.60
41	3792.05	4171.03	190.65	125.46	75.44
42	3979.29	4377.42	195.30	128.52	77.28
43	4171.03	4588.36	199.95	131.58	79.12
44	4367.29	4804.47	204.60	134.64	80.96
45	4568.07	5025.35	*209.25	*137.70	*82.80
46	4773.34	5251.35	213.90	140.76	84.64
47	4983.13	5482.39	218.55	143.82	86.48
48	5197.44	5718.35	223.20	146.88	88.32
49	5416.25	5959.91	227.85	149.94	90.16
50	5639.58	6205.58	232.50	153.00	92.00

A	B	C	D	E	F
	Millimeter	Millimeter	Kilogramme	Kilogramme	Kilogr.
51	5867.43	6455.99	237.15	156.06	93.84
52	6099.77	6711.89	241.80	159.12	95.68
53	6336.63	5973.69	*246.55	*162.18	*97.52
54	6578.01	7239.42	251.10	165.24	99.36
55	6823.89	7510.34	255.75	168.30	101.20
56	7047.22	7786.24	260.40	171.36	103.04
57	7329.24	8066.86	265.05	174.42	104.88
58	7588.62	8352.47	269.70	177.48	106.72
59	7852.55	8642.84	274.35	180.54	108.56
60	8120.80	8938.99	*279.00	*183.60	*110.40
61	8393.15	9239.89	283.65	186.66	112.24
62	8671.02	9545.36	288.30	189.72	114.18
63	8932.90	9856.18	292.95	192.78	116.02
64	9239.89	10171.78	297.60	195.84	118.86
65	9530.69	10492.56	302 25	198.90	119.70
66	9826.41	10817.85	306.90	201.96	121.54
67	10126.43	11148.33	311.55	205.02	123.38
68	10430.97	11483.99	316.20	208 08	125.22
69	10740.03	11823.41	320.85	211.14	127.06
70	11053.58	12169.99	*325.50	*214.20	*128.80
71	11371.45	12520.32	330.15	217.26	130.64
72	11693.84	12875.45	334.80	220.32	132.48
73	11939.72	13235.10	339.45	223.38	134.32
74	12352.94	13601.54	344.10	226.44	136.16
75	12688.87	13971.95	348.75	229.50	138.00
76	13029.69	14347.10	353.40	232.56	139.84
77	13374.83	14727.43	*358.05	*235.62	*141.68
78	13724.49	15111.72	362.70	238.68	143.52
79	14078.65	15502.99	367.35	241.74	145.36
80	14437.33	15892.20	372.00	244.80	147.20
81	14800.33	16298.39	376.65	247.86	149.04
82	15167.82	16703.54	381.30	250.92	150.88
83	15540 23	17118.16	385.95	253.98	152.72
84	15916.99	17528.72	*390 60	*257.04	*154.56
85	16298.39	17948.31	395.25	260.10	156.40
86	17684.14	18210.35	399.90	263.16	158.24
87	17074.41	18794.69	404.55	266.22	160.08
88	17469.14	19238.67	409.20	269.28	161.92
89	17895.52	19678.76	413.85	272.34	163.76
90	18191.24	20123.83	*418.50	*275.40	*165.60[1])

1) Der . gilt in dieser Tabelle als Dezimalzeichen; demnach ist z. B. 2.25 zu verstehen als 2,25. Anmerk. d. Uebers.

Zweite Tabelle, welche die verschiedenen Höhen enthält, von denen ein Körper fallen muß, damit die Stoßkräfte eine arithmetische Reihe bilden, deren Differenz dem Gewicht dieses Körpers gleich ist.

(Fallhöhen in Linien.)

In dieser Tabelle enthält die mit A bezeichnete Spalte die natürliche Reihe der Zahlen, aus denen man die Stoßkräfte herleitet, indem man das Gewicht des Körpers mit jedem dieser Glieder multiplicirt.

In der Spalte B drücken die Quadrate der Zahlen der vorhergehenden Spalte die durchlaufenen Wege aus, indem man 1 Linie zur Einheit annimmt.

Die Spalte C enthält die durch die Erfahrung ausgemittelten Wege (auch in Linien) damit die Stoßkräfte nach der Reihe der natürlichen Zahlen zunehmen.

Die Spalte D giebt dieselben Wege an, aber in Fuß, Zoll und Linien ausgedrückt.

Die Spalte E giebt die Größen des Stoßes bei einem Gewicht der eisernen Kugel von 9 1/2 Pfund an.

Die Spalte F die Größen des Stoßes bei einem Gewicht der eisernen Kugel von 6 1/4 Pfund.

Die Spalte G endlich die einer eisernen Kugel von 5 3/4 Pfund Gewicht.

A	B	C	D			E	F	G
	Linien	Linien	Fuß	Zoll	Linien	Pfund	Pfund	Pfund
1	1	1.	0.	0.	1.	9 1/2	6 1/4	3 1/4
2	4	4.2	0.	0.	4.2	19	12 1/2	7 1/2
3	9	9.6	0.	0.	9.6	28 1/2	18 1/4	11 1/4
4	16	17 2	0.	1.	5.2	38	25	15
5	25	27	0.	2.	3.	47 1/2	31 1/4	18 1/4
6	36	39	0.	3.	3.	57	37 1/2	22 1/2
7	49	53.3	0.	4.	5.3	*66 1/2	*43 3/4	*26 1/4
8	64	69.7	0.	5.	9.7	76	50	30
9	81	88.3	0.	7.	4.3	85 1/2	56 1/4	33 1/4
10	100	109.2	0.	9.	1.2	95	62 1/2	37 1/2
11	121	132.25	0.	11.	0.2	104 1/2	68 1/4	41 1/4
12	144	157.5	1.	1.	1.5	114	75	45
13	169	184.9	1.	3.	4.9	123 1/2	81 1/4	48 1/4
14	196	114.6	1.	5.	10.6	*133	*87 1/2	*52 1/2
15	225	246.5	1.	8.	6.5	142 1/2	93 3/4	56 1/4
16	256	280.5	1.	11.	4.5	152	100	60
17	289	316.8	2.	2.	4.8	161 1/2	106 1/4	63 3/4
18	324	355.3	2.	5.	7.3	171	112 1/2	67 1/2
19	361	396	2.	9.	0.	180 1/2	118 3/4	75 1/4

A	B	C	D	E	F	G
	Linien	Linien	Fuß Zoll Linien	Pfund	Pfund	Pfund
20	400	438.9	3. 0. 6.9	190	125	75
21	441	484.	3. 4. 4.	*199 1/2	*131 1/4	*78 3/4
22	484	531.3	3. 8. 3.3	209	137 1/2	82 1/2
23	529	580.8	4. 0. 4.8	218 1/2	143 3/4	86 1/4
24	576	632.5	4. 4. 8.5	228	150	90
25	625	686.5	4. 9. 2.5	237 1/2	156 1/4	93 3/4
26	676	742.6	5. 1. 10.6	247	162 1/2	97 1/2
27	729	800.9	5. 6. 8.9	256 1/2	168 3/4	101 1/4
28	784	861.4	5. 11. 9.4	266	175	105
29	841	924.2	6. 5. 0.2	275 1/2	181 1/4	1 8 3/4
30	900	989.1	6. 10. 5.1	*285	*187 1/	*112 1/2
31	961	1056.2	7. 4. 0.2	294 1/2	193 3/4	116 1/4
32	1024	1125.6	7. 9. 9.6	304	200	120
33	1089	1197.2	8. 3. 9.2	313 1/2	206 1/4	123 3/4
34	1156	1270.9	8. 9. 10.9	323	212 1/2	127 1/2
35	1225	1346.9	9. 4. 2.9	*332 1/2	*218 3/4	*131 1/4
36	1296	1425.	9. 10. 9.	342	225	135
37	1369	1505.4	10. 5. 5.3	351 1/2	231 1/4	138 3/4
38	1444	1588.	11. 0. 4.	*361	*237 1/2	*142 1/2
39	1521	1672.8	11. 7. 4.8	370 1/2	243 3/4	146 1/4
40	1600	1759.8	12. 2. 7.8	380	250	150
41	1681	1849.	12. 10. 1.	389 1/2	256 1/4	153 3/4
42	1764	1940.4	13. 5. 8.4	399	262 1/2	157 1/2
43	1849	2034.	14. 1. 6.	408 1/2	268 3/4	161 1/4
44	1936	2129.8	14. 9. 5.8	418	275	165
45	2025	2227.8	15. 5. 7.8	*427 1/2	*281 1/4	*168 3/4
46	2116	2328.	16. 2. 0.	437	287 1/2	172 1/2
47	2209	2430.5	16. 10. 6.5	446 1/2	293 3/4	176 1/4
48	2304	2535,1	17. 7. 3.1	456	300	180
49	2401	2642.	18. 4. 2.	465 1/2	306 1/4	183 3/4
50	2500	2751.	19. 1. 3.	475	312 1/2	187 1/2
51	2601	2862.	19. 10. 6.	484 1/2	318 3/4	191 1/4
52	2704	2975.7	20. 7. 11.7	494	325	195
53	2809	3091.4	21. 5. 7.4	*503 1/2	*331 1/4	*198 3/4
54	2916	3209.2	22. 3. 5.2	513	337 1/2	202 1/2
55	3025	3329.3	23. 1. 5.3	522 1/2	343 3/4	206 1/4
56	3136	3451.6	23. 11. 7.6	532	350	210
57	3249	3576.	24. 10. 0.	541 1/2	356 1/4	213 3/4
58	3364	3702.7	25. 8. 6.7	551	362 1/2	217 1/2
59	3481	3831.6	26. 7. 3.6	560 1/2	368 3/4	221 1/4
60	3600	3962.7	27. 6. 2.7	*570	*375	*225
61	3721	4096.	28. 5. 4.	579 1/2	381 1/4	228 3/4
62	3844	4231.5	29. 4. 7.5	589	387 1/2	252 1/2
63	3969	4369.2	30. 4. 1.2	598 1/2	393 3/4	236 1/4
64	4096	4509.1	31. 3. 9.1	608	400	240
65	4225	4651.2	32. 3. 7.3	617 1/2	406 1/4	243 3/4

A	B	C	D	E	F	G
	Linien	Linien	Fuß Zoll Linien	Pfund	Pfund	Pfund
66	4356	4795.5	33. 3. 7.5	627	412 1/2	247 1/2
67	4489	4942.	34. 3. 10.	636 1/2	418 3/4	251 1/4
68	4624	5090.8	35. 4. 2.8	646	425	255
69	4761	5241.7	36. 4. 9.7	655 1/2	431 1/4	258 3/4
70	4900	5394.9	37. 5. 6.9	*665	*437 1/2	*262 1/2
71	5041	5550.2	38. 6. 6.2	674 1/2	443 3/4	266 1/4
72	5184	5707.8	39. 7. 7.8	684	450	270
73	5329	5867.5	40. 8. 11.5	693 1/2	456 1/4	273 3/4
74	5476	6029.5	41. 10. 5.5	703	462 1/2	277 1/2
75	5625	6193.7	43. 0. 1.7	712 1/2	468 3/4	281 1/4
76	5776	6360.	44. 2. 0.	722	475	285
77	5929	6528.6	45. 4. 0.6	*731 1/2	*481 1/4	*288 3/4
78	6084	6699.4	46. 6. 3.4	741	487 1/2	292 1/2
79	6241	6872.4	47. 8. 8.4	750 1/2	493 3/4	296 1/4
80	6400	7047.6	48. 11. 3.6	760	500	300
81	6561	7225.	50. 2. 1.	769 1/2	506 1/4	303 3/4
82	6726	7404.6	51. 5. 0.6	779	512 1/2	307 1/2
83	6884	7586.4	52. 8. 4.4	788 1/2	518 3/4	311 1/4
84	7056	7770.4	53. 11. 6.4	*798	*525	*315
85	7225	7956.6	55. 3. 0.4	807 1/2	531 1/4	318 3/4
86	7396	8145.	56. 6. 9.	817	537 1/2	322 1/2
87	7569	8335.6	57. 10. 3.6	826 1/2	543 3/4	326 1/4
88	7744	8528.5	59. 2. 8.5	836	550	330
89	7921	8723.5	60. 6. 11.5	845 1/2	556 1/4	333 3/4
90	8100	8920.8	61. 11. 4.8	*855	*562 1/2	*337 1/2 [1])

1) In dieser Tabelle in den Spalten C und D steht der . bei den Zahlen, deren Einheit Linie ist, für das Dezimalzeichen.

Anmerk. d. Uebers.

Dritte Tabelle, welche in der Spalte C durch die Zahlen angiebt, womit man das Gewicht des fallenden Körpers zu multipliciren hat, um für eine bestimmte Fallhöhe in Drittelmeter (Spalte A) oder in metrischem Fuß (Spalte B) die zugehörige Stoßkraft zu finden.

Vierte Tabelle, welche in der Spalte E durch die Zahlen angiebt, womit das Gewicht des Körpers multiplicirt werden muß, um für eine bestimmte Fallhöhe in Fuß (Spalte D) die zugehörige Stoßkraft zu finden.

Dritte Tabelle. Vierte Tabelle.

A	B	C	A	B	C	D	E	D	E
Meter	Metr. Fuß	Faktor	Meter	Metr. Fuß	Faktor	Fuß	Faktor	Fuß	Faktor
1/3	1	11.61	10.1/3	31	64.50	1	11.47	31	63.68
2/3	2	16.41	2/3	32	65.53	2	16.20	32	64 70
1.0	3	20.09	11.0	33	66.55	3	19.82	33	65.75
1/3	4	23.19	1/3	34	67.55	4	22.90	34	66.69
2/3	5	25.93	2/3	35	68.54	5	25.59	35	67.66
2.0	6	28.40	12.0	36	69.51	6	28.02	36	68.61
1/3	7	30.67	1/3	37	70.47	7	30.28	37	69.56
2/3	8	33.24	2/3	38	71.41	8	32.37	38	70.50
3.0	9	34.77	13.0	39	72.35	9	34.34	39	71.41
1/3	10	36.65	1/3	40	73.27	10	36.19	40	72.32
2/3	11	38.44	2/3	41	74.18	11	37.96	41	73.23
4.0	12	40.15	14.0	42	75.07	12	39.63	42	74 12
1/3	13	41.78	1/3	43	75.96	13	41.25	43	75.00
2/3	14	43.36	2/3	44	76.84	14	42.80	44	75.83
5.0	15	44.88	15.0	45	78.57	15	44.30	45	76.71
1/3	16	46.31	1/3	46	78.71	16	45.76	46	77.56
2/3	17	47.78	2/3	47	79.43	17	47.17	47	78.40
6.0	18	49.16	16.0	48	80.26	18	48.53	48	79.23
1/3	19	50.51	1/3	49	81.08	19	49.86	49	80.05
2/3	20	51.82	2/3	50	81.91	20	51.15	50	80.86
7.0	21	53.09	17.0	51	82.71	21	52.41	51	81.10
1/3	22	54.34	1/3	52	83.52	22	53.64	52	82.46
2/3	23	55.57	2/3	53	84.34	23	54.86	53	83.25
8.0	24	56.76	18.0	54	85.20	24	56.03	54	84.03
1/3	25	57.93	1/3	55	86.21	25	57.19	55	84.81
2/3	26	59.08	2/3	56	86.80	26	58.32	56	85.57
9.0	27	60.20	19.0	57	87.46	27	59.42	57	86.33
1/3	28	61.30	1/3	58	88.21	28	60.51	58	87.08
2/3	29	62.39	2/3	59	88.97	39	61.60	59	87.83
10.0	30	63.45	20.0	60	89.72	30	62.64	60	88.57 [1])

1) In den Spalten C und E bedeutet der Punkt das Dezimalzeichen. Anmerk. d. Uebers.

Erstes Beispiel.

Wenn man die Größe des Stoßes eines Körpers, der **40** Kilogramme wiegt und von **3** Meter Höhe fällt, erfahren will, so multiplicirt man **40** mit **34,77**, welches aus der dritten Tabelle, in der Spalte **C**, der zur Fallhöhe **3** Meter gehörige Faktor für die gesuchte Stoßkraft ist. Nach ausgeführter Rechnung erhält man **1390** Kilogramme und **8** Hektogramme oder **1390,8** Kilogramme.

Zweites Beispiel.

Will man ferner die Größe des Stoßes eines Körpers von **120** Pfund, der von **12** Fuß Höhe fällt, kennen lernen, so multiplicirt man **120** mit **39,63**, welches aus der vierten Tabelle zu entnehmen ist, und man erhält für die Größe des Stoßes **4755** $^{3}/_{8}$ Pfund.

Drittes Beispiel.

Um die Stoßkraft eines gewöhnlichen Rammklotzes von **750** Pfund, welches von **5** Fuß Höhe herabfällt, beim Einrammen der Pfähle kennen zu lernen, suche man in der vierten Tabelle den Faktor, welcher einer Fallhöhe von **5** Fuß entspricht. Mit dieser Zahl, welche **25,59** ist, multiplicire man das Gewicht des Rammklotzes, so erhält man die gesuchte Stoßkraft gleich **19192** Pfund.

Viertes Beispiel.

Man will die Senkung wissen, welche ein Pfeiler, der eine Grundfläche von **4** Fuß hat, und dessen Belastung nebst seinem eigenen Gewicht **60000** Pfund ist, auf einem gewöhnlichen Grund verursachen würde.

Nimmt man diesen Pfeiler ohne Anlage an, d. h. die Ausdehnung oder Stärke seines Fundaments sey einerlei mit der des Pfeilers auf der Erdoberfläche, so ist klar, daß jeder Fuß der Grundfläche **15000** Pfund tragen muß.

Zur Hervorbringung derselben Wirkung nehme man eine Ramme, deren Klotz **750** Pfund wiegt. Nachdem man **15000** mit **750** dividirt hat, sucht man in der zweiten Tabelle, welcher Höhe der Quotient **20** entspricht, und man findet **3** Fuß **6,9** Linien. Um demnach eine Wirkung hervorzubringen gleich derjenigen, welche der Pfeiler mit seiner Belastung auf dem Boden verursacht, muß man den Rammklotz von jener Höhe herabfallen lassen. Das Maß der Einsenkung, welche derselbe hervorbringt, ist gleich dem der Senkung, veranlaßt durch den Pfeiler und seine Belastung.

Bemerkung.

Wenn man den Rammklotz von derselben Höhe zum zweiten Mal auf dieselbe Stelle fallen läßt, so ist die weitere Einsenkung — also von der an gerechnet, welche der erste Stoß schon hervorgebracht hat — weit geringer, und beim dritten Mal noch geringer, so daß sie sich bei den folgenden Stößen immer mehr vermindert und nach einer gewissen Anzahl fast nicht mehr bemerkbar wird. Hieraus folgt, daß man einen Boden durch Stampfen mit einer Ramme so fest machen kann, daß beinahe keine Senkung mehr unter einer gewissen Belastung stattfindet.

Eine andere Bemerkung.

Wir haben in dem vorhergegangenen Beispiel gesehen, daß bei einem Pfeiler, der keine Anlage und eine Belastung von **60000** Pfund hat, bei einer Grundfläche von **4** Fuß auf **1** Fuß derselben **15000** Pfd. kommen. Wenn man aber diesen Pfeiler auf eine Grundmauer setzt, welche ringsum **6** Zoll Anlage hat, so ist klar, daß die auf dem Grund befindliche Fläche jetzt **9** Fuß, statt **4** Fuß beträgt, und daß die Größe des Drucks $\frac{60000}{9} = 6444$ Pfund ist, statt **15000**, d. i. noch weniger als die Hälfte; und da die Senkung im Verhältniß zum Druck steht, so wird sie also jetzt weniger als die Hälfte seyn.

Wenn man statt einer vorspringenden Grundmauer deren zwei aufführte, jede mit **6** Zoll Anlage oder **6** Zoll überstehend, so würde die auf dem Grund befindliche Fläche **16** Fuß haben, und der Druck würde nun $\frac{60000}{16} = 3750$ Pfund seyn, Figur **5**, Tafel **CLXXVI.**

Es ist demnach möglich, die Pressung eines Stützpunktes zu vermindern, indem man die Ausdehnung seiner Grundfläche auf dem Boden vermehrt. Dieses Mittel ist zum Ausgleichen mit der Belastung sehr nützlich und verhütet das ungleiche Setzen, was sehr wesentlich ist; denn diese Ungleichheit verursacht — wie wir schon bemerkt haben — bisweilen Spalten und gefährliche Ausbrüche, welche den Einsturz der Gebäude herbeiführen können.

Eine zusammenhängende Mauer, wie dies bei einer gemeinschaftlichen Mauer der Fall ist, erzeugt oft einen geringern Druck auf den Grund als ein abgesonderter Stützpunkt, welcher aus seinem Gewicht

die Belastung benachbarter Theile zu tragen hat. Da es aber immer möglich ist, sehr annährungsweise das Gewicht der Theile eines Gebäudes auszumitteln, so kann man auch die Vergrößerung der Grundmauer oder die Anlage derselben verhältnißmäßig so bestimmen, daß die Pressung überall gleich ist. Fehlern hierin muß man es zuschreiben, wenn sich Unfälle bei neu errichteten Bauten ereignen.

Zweiter Artikel. — Fundamente auf leichtem und lockerm Grund.

Wenn man Fundamente auf leichtem, lockerm oder frisch aufgeschüttetem Grund zu errichten hat, muß man denselben vorher so lange stampfen, bis die Ramme nicht mehr einsinkt, oder eine andere Maschine, deren Stoß der Belastung durch die Bauten, die auf jenem Grund aufzuführen sind, verhältnißmäßig ist. Auf diesen gut gestampften Grund lege man die Fundamente, wie wir es nachher für den guten Boden angeben werden.

Das Stampfen des Bodens ist oft vorzüglicher und weniger kostspielig als der Pfahlrost; denn das Zusammendrängen des Erdreichs, welches im Anfang durch das Einrammen der Grundfläche verursacht wird, führt eine so beträchtliche Reibung herbei, daß diese sich dem weitern Eindringen der Pfähle in dem Grad widersetzt, daß dieselben dem Stoß des Rammklotzes nicht mehr nachgeben, ob sie gleich den guten Grund noch nicht erreicht haben. Dieses Stopfen lüftet — so zu sagen — den Boden, in welchem man die Pfähle einschlägt, indem sich jener gegen den benachbarten stützt. Dieser giebt aber mit der Zeit nach, und das gelüftete Erdreich senkt sich unter der Belastung und erzeugt ein Setzen, worüber man erstaunt — vorzüglich, wenn man alle nöthigen Vorsichtsmaßregeln ergriffen hat, um das Pfahlwerk nach üblicher Weise auszuführen. — Dagegen ist zu bemerken, daß das Stampfen eines zusammendrückbaren Bodens und der darauf errichteten Fundamentmauer zum Voraus das Setzen, dessen sie fähig sind, bewerkstelligt und sie fest genug macht, um der Belastung, ohne Furcht vor Reaction, zu widerstehen.

Dritter Artikel. — Fundamente auf Trieb- oder Quellsand.

Beweglicher Sand, oder Triebsand, und von Wasserquellen durchzogener, oder Quellsand, muß eingeschlossen und ausgetrocknet werden.

Man kann zu dem Ende Grund- und Spundpfähle verwenden — vorausgesetzt, daß diese weit genug in die Bodenschichte unter dem Sand dringen, um den Wirkungen des beweglichen Sandes zu widerstehen und das Ausschöpfen des eingedrungenen Wassers zu erleichtern.

Das beste Mittel — auf diese Art Grund feste Fundamente zu legen — ist, auf die ganze Fläche, welche von jenen Pfählen eingeschlossen ist, eine dicke Lage von Beton-Gemäuer oder von Bruchsteinen mit Mörtel, wie wir es weiterhin beschreiben werden, zu verbreiten.

Auf diese gut gestampfte, nivellirte und gleich gemachte Schichte bringe man eine neue Schichte von starken Grundquadersteinen ebenfalls mit Mörtel. Sie wird um **1** oder **2** Fuß eingerückt und gestampft, und dient so als Fundament der Mauern oder Stützpunkte. Auf diese Arten legten fast immer die alten Römer die Fundamente zu ihren Gebäuden und besonders, wenn der Boden nicht Festigkeit genug zu haben schien. —

Die Einschließung mit einer doppelten Reihe von Pfählen und Spundwänden, deren Zwischenraum mit Thon- oder Dammerde ausgefüllt ist, wird ebenfalls in sumpfigem Erdreich und bei Fundamentirungen im Wasser angewendet. Um diese Einschließung auszuführen, der man den Namen Fangdamm, Kastendamm, auch Kistwand giebt, bringt man in Pfählen, die auf sehr kleine Entfernungen von einander eingesetzt sind, Nuthen an, in welche man Spundpfähle, d. s. Bohlen von Eichenholz, die unten zugespitzt sind, einschiebt. Die innere Weite dieses Kastens kann von **1** bis zu **4** Meter betragen — nach Verhältniß seiner Ausdehnung und der Gewalt des Wassers.

Man bildet auch die Fangdämme zwischen zweien Pfahlreihen, die ungefähr **1** Meter von einander entfernt sind, indem man an diese Pfähle Querhölzer oder Bindebalken befestigt, zwischen welche man die Bohlen einschiebt, damit sie in gehöriger Richtung erhalten werden. Diese Anordnung ist in den Figuren **9** und **10**, Tafel **CLXXVI**, dargestellt. Damit sich diese Bohlen besser an einander schließen, werden sie nicht eben, sondern mit Federn und Nuthen an einander gefügt. Diese befinden sich in der Mitte der Bohlendicke und können der dritte Theil derselben seyn (Figur **A**).

Wenn ein Fang- oder Kastendamm gut ausgeführt ist, so kann er vom Wasser nicht durchdrungen werden, und man vermag den von ihm eingeschlossenen Raum — selbst mitten in einem Fluß — auszuschöpfen, ohne daß das Durchdringen des Wassers zu befürchten ist. Es lassen

sich alsdann auf dem Grund, mit derselben Leichtigkeit wie auf trockenem Erdreich, sichere Fundamente zu Brückenpfeilern anlegen; ebenso auch zu Widerlagern und andern Werken in dem Wasser oder in einem davon durchdrungenen morastigen Boden.

So lange es möglich ist, jene Dämme anzulegen, ist dieses Mittel bei Fundamentirungen in lockerm Boden bei weitem sicherer als die neu angegebenen Kasten, welche jene vertreten sollen. —

Herr Tardif, Brücken- und Chausseebaumeister, hat **1757** eine neue Art, Einfassungsdämme zu bauen, bekannt gemacht, woraus man einiges Vortheilhafte für das Legen fester Fundamente in sandigem und morastigem Boden, in Flüssen und selbst im Meer nahe an den Küsten entlehnen kann. Dieses Mittel besteht in einem Holzgerüst, wovon Figur **11**, Tafel **CLXXVI**, das Profil darstellt. Dieses Gerüst bildet einen hohlen Raum, der im Aeußern aus Pfosten besteht, die in eine keilförmig abgekantete Schwelle eingezapft sind, welche unten mit eisernen Schuhen zur Befestigung an die Pfosten beschlagen ist. Die schiefe Fläche des Keils ist nach Innen zu durch kurze Bänder erweitert, die in eine andere — ungefähr **3** Fuß höher liegende horizontale Schwelle eingezapft sind. In dieser befinden sich andere Pfosten, die von den erstern **2 1/2** Fuß entfernt und denselben gerade gegenüber sind. Zwei solcher zusammengehörigen Doppelpfosten sind in verschiedenen Höhen durch Bänder und Querbalken verbunden und bilden so ein Gestell, wie es Figur **11** darstellt.

Diese Gestelle kommen **6** Fuß von einander und bilden die Umfassung nach der durch die Grundschwellen bestimmten Figur. Man belegt die innern und äußern Pfostenreihen mit starken Bohlen, die dicht aneinander schließen, quer laufen und an jedem Pfosten befestigt sind. Diesen so gebildeten hohlen Raum füllt man mit Mauerwerk aus.

Diese Art von Einfassung hat den Vortheil, daß man das Gerüst auf dem Platz aufschlagen und die Fangdämme ausführen kann ohne das Einschlagen von Pfählen und Spundbohlen nöthig zu haben. Dieses Einschlagen ist gewöhnlich sehr zeitraubend, schwierig und kostspielig — besonders, wenn man Fundamente im Wasser zu legen hat.

Beim Fundamentiren in Flugsand oder schlammigem Grund beginnt man damit, das Gerüst der Einfassung aufzurichten. Nachdem man hierauf den untern keilförmigen Theil **B** mit Bohlen belegt und mit Mauerwerk ausgefüllt hat, gräbt man im Innern ringsum mög-

gleich tief aus. In dem Maß, als sich die Einfassung senkt, fährt man fort, dieselbe mit Bohlen zu belegen und mit Mauerwerk auszufüllen, bis man auf den festen Grund gekommen ist. Nachdem man den von der Einfassung eingeschlossenen Sand und schlechten Boden weggeschafft und die erforderlichen Ausschöpfungen bewerkstelligt hat, führt man auf dem möglichst gut nivellirten und gestampften Grund das Mauerwerk des Fundamentes auf.

Wenn man den Boden nicht stampfen kann und wenn er nicht die erforderliche Festigkeit hat, so verbreitet man auf demselben eine Schichte Beton oder Mauerwerk aus kleinen Bruchsteinen mit frisch gelöschtem Kalk. Nachdem diese Schichte geebnet und nivellirt ist, bringe man eine andere von groben Quadersteinen mit Mörtel darauf und stampfe sie gut. Dieses Mittel ist den Belegen und dem Rost von Zimmerholz vorzuziehen; denn es gewährt den doppelten Vortheil, daß es einmal den Boden befestigt, indem es sich seiner Oberfläche genau anschließt, die sowohl vom Stampfen als auch von der sie durchdringenden Feuchtigkeit des Mörtels fester wird. Dann kann aber auch die Zeit die Festigkeit dieses Werks nur vergrößern, während sie den hölzernen Rost zerstört; denn es ist mit dem Holz dieses liegenden Rostes nicht wie mit den Pfählen, deren in dem Boden steckender Theil sehr oft erhalten ist, während die Köpfe der Pfähle und die Schwellen zerstört sind.

Bei den Fundamentirungen im Wasser — wie bei denen der Brückenpfeiler — reicht es hin, einige Pfähle 3 bis 4 Meter von einander einzurammen, um die Lage der Einfassung dadurch zu bestimmen und diese darin zu erhalten, während man den hohlen Theil der einfassenden Wand mit Mauerwerk ausfüllt, um die Einfassung zum Niedersteigen bis auf den Grund zu bringen. Wenn dieses geschehen ist, räume man ringsum im Innern auf, damit der Fuß der Einfassung sich in den Boden einsenkt und man das Wasser in der Mitte ausschöpfen kann.

Der Theil der Einfassung über dem Grund des Flusses kann mit Thon — statt mit Mauerwerk — ausgefüllt werden, damit das Wasser sicherer vom Durchdringen abgehalten wird; denn dieser Theil, welcher nur als Damm dient, fällt weg, wenn sich der Pfeiler bis über den Wasserspiegel erhoben hat. Man läßt den andern Theil unter dem Grund liegen, um das Fundament mehr zu befestigen und gegen Unterspülungen zu sichern.

Die Figuren **12** und **13** stellen den Grundriß und Durchschnitt eines Brückenpfeilers dar, dessen Fundament auf jene Art gelegt ist. Der Theil **A** des Grundrisses zeigt die Einfassung mit den Bändern und Querhölzern, um dem Druck des Wassers und Triebsandes Widerstand zu leisten, ehe das Fundament und die Ausfüllung ringsum fertig sind.

Der Theil **B** zeigt den ausgeführten Pfeiler und die Ausfüllung mit Mauerwerk ringsum bis zur Höhe des Flußgrundes.

Die Querhölzer und andern Stützen des Innern werden weggenommen in dem Maße, als sich der Pfeiler erhebt. Man könnte sie auch ganz weglassen, indem man die langen Seiten des Kastens ein wenig nach außen zu krümmte, statt sie gerad zu machen; sie würden auf diese Art dem Druck des Wassers, der sie eher zu befestigen als zu zerstören strebte, widerstehen.

Der mit **E** im Grundriß und Profil bezeichnete Raum, welcher sich zwischen dem Innern des Kastens und dem Pfeiler befindet, hat nur ungefähr **1**$^1/_2$ Fuß oder $^1/_2$ Meter Breite.

Dieses neue System des Kastenbaus, von Herrn Tardif erfunden, ist in der neuern Zeit mit wichtigen Veränderungen bei dem Schacht angewendet worden, welcher zu dem unterirdischen Weg — Tunnel genannt — führt, den Herr Brünel, französischer Baumeister, unter der Themse zu London mit ebenso viel Geschicklichkeit als Muth unternommen hat. (Man sehe die für die Tafeln beigefügten Noten.)

Vierter Artikel. — Fundamente auf Thonboden.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß es gefährlich ist, in Thonboden Ausgrabungen vorzunehmen und Pfähle einzurammen, daß man aber auf eine dauerhafte Art das Fundament eines Gebäudes auf demselben errichten kann, wenn man einen Rost von Zimmerholz mit Bohlenbeleg anbringt. Man führt als Muster in dieser Art das Verfahren an, welches der große Blondel bei dem Fundament der Seilerbahn zu Rochefort anwendete.

Dieses Gebäude, welches aus zwei Stockwerken besteht, hat **4** Toisen Breite im Lichten und **216** Toisen Länge, die Pavillone an den beiden Enden nicht mitgerechnet. Indem Blondel den Boden, auf welchem es errichtet ist, ausgraben ließ, fand er unter der ersten Erdschichte, welche aus schwarzer — mit Rasen bedeckter Erde bestand, eine Thonmasse von **10** bis **12** Fuß Mächtigkeit. Oben hatte sie eine

große Festigkeit, nach und nach aber wurde sie so weich, daß der Grund ein halbflüssiger Schlamm war. Der schlechte Boden unter dem Thon dehnte sich auf eine so große Tiefe aus, daß man nicht das Ende finden konnte. Indessen war dieses Gebäude zu beträchtlich, um zu wagen, das im Lande übliche Verfahren zu befolgen. Dieses bestand nämlich darin, die ersten Schichten unmittelbar auf den Boden zu legen; denn Erfahrung hatte die Einwohner gelehrt, daß die 2 Fuß der guten Erde, welche durch die Wurzeln des Rasens fest zusammengehalten wurden, hinreichten, die Mauern der gewöhnlichen Häuser zu tragen.

Nach mehreren Untersuchungen und Belehrungen über die Art, auf Thon zu gründen, entschloß sich Blondel, das Fundament seines Gebäudes auf einen Rost zu legen, der aus Balken von 10 bis 11 Zoll Dicke bestand, die durch Schwalbenschwänze überall verbunden waren. Dieser Rost erstreckte sich nicht allein auf die ganze Länge der äußern Mauern, sondern auch unter die Quermauern, welche nur bis zur Höhe der Erdfläche gingen und von Blondel von 4 zu 4 Toisen für nöthig erachtet wurden, um die Fundamente der Längenmauern zu verbinden.

Auf diesen Rost, der um seine Dicke in den Thon versenkt war, legte man in der ganzen Ausdehnung einen horizontalen Boden von dicht an einander gefügten und 3 bis 4 Zoll dicken Bohlen, welche auf den Balken des Rostes angenagelt wurden. Auf dieses Bohlenbeleg setzte man alsdann die erste Schichte von groben Mauersteinen für das Fundament der Mauern, und damit kein ungleiches Setzen stattfand, hatte man die Vorsicht, alle Wände in gleicher Höhe aufzubauen, d. h. man fing keine neue Steinlage an, bevor man nicht die vorhergegangene in ihrer ganzen Ausdehnung beendigt hatte. Mit Hülfe aller dieser Vorsichtsmaßregeln gelangte man zur Auffübrung dieses außerordentlich großen Gebäudes, ohne daß sich der geringste Unfall damals ereignete und auch bis jetzt ereignet hat. —

Das Legen eines Fundaments auf Torf ist ganz dasselbe. — Jene Methode ist auch mit Erfolg anwendbar auf sumpfigem und schlammigem Boden — ohne eine andere Vorbereitung als das Legen des Rostes auf denselben. Aber es ist hierzu nöthig, daß Dicke und Festigkeit des sumpfigen Erdreich, überall gleich sind, damit das Setzen gleichförmig stattfindet und alle darauf errichteten Theile ihre vertikale Lage behalten.

Die erfahrensten Baumeister machen beinahe weiter keinen Gebrauch von Pfählen, als um die Fundamente auf dem Grund festzuhalten, wenn Werke längs Flüssen und an Meeresküsten aufzuführen sind, und sie setzen dann dieselben eher ober- als unterhalb.

Fünfter Artikel. — Dike der Fundamente.

Vitruv begnügt sich damit zu sagen, daß die Fundamente eine größere Dicke haben müssen als die Bauwerke, welche man darauf errichtet Palladio glaubt, daß man den Fundamenten der Mauern das Doppelte der Dicke von diesen auf der Bodenfläche geben müsse. Scamozzi giebt nur den vierten Theil, wenigstens den sechsten darüber an Philibert Delorme gesteht ihnen nur die Hälfte darüber zu; Mansard hat diese Regel bei dem Invalidenhotel befolgt.

Es ist erstaunlich, daß diese Schriftsteller und alle ihre Kopisten nicht darauf verfielen, daß die Ausdehnung der Fundamente eher im Verhältniß zur Belastung als zur Dicke der Mauern stehen müsse. Da nämlich in den — durch die Figuren **7** u. **8**, Tafel **CLXXV**, dargestellten Zusammensetzungen die Würfel, welche ihre Unterlage bilden, gleich belastet sind, so drücken sie den Boden, auf dem sie ruhen, mit gleicher Kraft. Oft preßt eine sehr dicke Mauer oder Steinmasse den Boden im Verhältniß zu ihrer großen Grundfläche weniger, als eine weit dünnere Mauer. Dies ist um so mehr der Fall, als die größere Dicke oft nur die Bestimmung hat, die Mauer gegen Seitendruck, z. B. den Druck von Erdwerken oder von Gewölben, widerstandsfähig zu machen. —

Figur **17**, Tafel **CLXXVI**, stellt ein — von Leon-Baptist Alberti vorgeschlagenes Mittel dar, um mehrere abgesonderte Stützpunkte mit einander zu verbinden, damit sich die Wirkung des Drucks vermindert, indem man sie auf eine größere Fläche vertheilt. Dieses Mittel besteht darin, in den Zwischenräumen der Pfeiler umgekehrte Bogen auszuführen, die einen Theil des Drucks auf die Zwischenräume übertragen. Man hat dieses Verfahren bei den Fundamenten der Säulen im Innern der Genoveven-Kirche angewendet.

Leon-Baptist Alberti betrachtet die Fundamente nicht, als machten sie einen Theil von den darauf errichteten Bauwerken aus; nach ihm sind sie nur die Grundlage, auf welche diese gesetzt werden müssen. Er begründet seine Ansicht, indem er sagt, daß es unnöthig wäre,

ein Fundament zu legen, wenn der Boden hinreichende Festigkeit hätte, wie dies bei den Felsen oder Steinbruchmassen der Fall ist. Nach diesem gelehrten Schriftsteller sind also die Fundamente nichts Anders als künstliche Grundlagen zum Ersatz bei mangelnder Festigkeit des Bodens, und sie wären demnach unnütz, wenn man ein anders Mittel hätte, dem Boden hinreichende Festigkeit zu geben. — Handelte es sich nur um den vertikalen Druck, welchen die Last ausübt, so könnte man die Fundamente in gewissen Fällen entbehren; da aber diese Kraftäußerung fast immer mit irgend einer andern verbunden ist, so ist es klug, selbst auf den festesten Boden Fundamente zu legen. —

Da es schwierig ist, den Boden unmittelbar mit einem Gewicht zu belasten, das bedeutend genug ist, um gleiche Wirkung mit dem Druck eines auch nur mittelmäßigen Baues hervorzubringen, so schien uns immer zum Ersatz dieses Drucks das einfachste Mittel, der Fall der Körper zu seyn. Wenn die von uns vorgeschlagene Ramme nicht anwendbar ist, so kann man sich entweder eines Balkens, der unten mit Eisen beschlagen ist und eine geringere Grundfläche hat, oder einer Handramme der Pflasterer bedienen. Denn da die Kraft des Stoßes im umgekehrten Verhältniß der Grundfläche steht, so folgt, daß ein Holz von nur dem vierten oder sechsten Theil des Rammklotzes den nämlichen Stoß mit dem vierten oder sechsten Theil seines Gewichtes hervorbringen kann, und daß demnach die Ramm-Maschine zu entbehren ist. Vier Arbeiter — statt **16**, die bei einer Ramme nöthig sind — bringen mit einer Handramme auf einer **4** mal kleinern Fläche dieselbe Wirkung hervor — und zwar mit weniger Kraftanstrengung, weil sie die Reibung des Rammklotzes und der Rolle weniger zu überwinden haben.

Ich habe in Bezug auf diesen Gegenstand beobachtet, daß die zum Heben jenes Balkens angestellten Arbeiter und ebenso der Arbeiter, welcher sich der Handramme der Pflasterer bedient (eine Handramme wiegt ungefähr **50** Pfund), eine größere Wirkung hervorbringen, als wenn der Balken oder die Handramme für sich von der Höhe herabfällt, auf welche sie dieselbe gehoben haben, wenn diese Höhe nicht größer als $^1/_3$ Meter ist; denn unwillkührlich lehnen die Arbeiter sich oder drücken auf den Körper während seines Falles im Verhältniß der Anstrengung, deren es zum Heben desselben bedurfte. Aus demselben Grund bringt man durch Schlagen mit einem Hammer eine

größere Wirkung hervor, als wenn man ihn von der Höhe fallen läßt, auf welche man ihn beim Schlagen gehoben hat.

Man kann aus allem soeben Gesagten entnehmen, daß der Hauptgegenstand beim Fundamentlegen das Befestigen des Bodens ist, auf welchem es geschieht, und daß alles Verfahren sich auf diesen wesentlichen Umstand beziehen muß; denn die sonstige Güte der Constructionen, wenn man sie auf einem schlecht befestigten Grund ausführt, kann einem Gebäude nie wahre Festigkeit verleihen.

Zweites Kapitel.

Von den Fundamenten in gutem Grunde.

Es ist schon erwähnt worden, daß man — außer den Felsen und Steinbruchmassen, die nicht unterhöhlt sind — ferner zum guten oder festen Grund rechnet: Kies, steinigen Boden, groben mit Erde vermischten Sand, Tuffstein, Damm- und feste Erde, welche nicht aufgeschüttet ist. Da diese verschiedenen Bodenarten mehr oder weniger zusammendrückbar sind, so ist es nöthig, daß dieselben geprüft werden. Büllet schlägt ein Mittel vor, welches mit dem von uns angegebenen in einiger Beziehung steht. Nachdem er zur Prüfung Löcher oder Brunnen angegeben hat, die man in den Boden macht, um die Schichten, aus denen er besteht, kennen zu lernen, fügt er hinzu:

„Man kann noch auf eine andere Art erkennen, ob der mit einem Fundament zu versehende Grund — wenn es keinen schlechten unterhalb giebt — Dichtigkeit genug hat. Man muß zu dem Ende ein Stück Holz — einen starken Balken von 6 bis 8 Fuß Länge — nehmen und den Boden mit demselben stampfen. Wenn dieser dem Stoß widersteht und der Ton trocken und hell erscheint, so kann man sich versichert halten, daß er fest ist. Giebt aber der Boden beim Stampfen einen dumpfen Ton von sich und leistet er keinen Widerstand, so kann man daraus schließen, daß er schlecht ist.“

Diese Probe giebt eine Vorstellung von der Festigkeit des Grundes, aber man kann den Grad dieser Festigkeit nicht schätzen, wie durch das von uns vorgeschlagene Mittel, um die Breite der Fundamente im Verhältniß zur Festigkeit des Grundes zu bestimmen.

In gutem Boden, wie der hier besprochene ist, kann man die Menge der vorspringenden Grundmauern (der Absätze oder Zurücksetzungen) im Verhältniß zur Einsenkung des Stoßbalkens in den Boden

nehmen. Wenn derselbe dem Stoß widersteht und einen hellen Ton giebt, so ist eine vorspringende Grundmauer oder ein Absatz hinreichend.

Will man ein dauerhaftes Fundament legen, so muß die erste Schichte aus groben Grundquadersteinen — d. s. große Steine ohne Stirnflächen — bestehen, deren Lager mit der großen Spitzhaue zugerichtet sind. Man versetzt diese Schichte, nachdem man den Grund gut nivellirt und gestampft hat, auf ein Lager von Mörtel, oder nachdem man den Boden mit Kalkwasser befeuchtet hat. Diese erste Lage muß mit der Handramme gestampft werden. Der übrige Theil kann aus groben Bruchsteinen mit Mörtel gebaut seyn, muß aber allmählig gestampft werden, und unter den Stützpunkten oder den am meisten belasteten Theilen aus Grundquadersteinen im Verband bestehen, wobei man — wie wir schon gesagt haben — die Ausdehnung dieser Theile der zu tragenden Last entsprechend macht.

BAYERISCHE
STAATS-
BIBLIOTHEK
MUENCHEN

Drittes Kapitel.

Von den Fundamenten auf Felsen oder auf Steinmassen.

Ungeachtet der scheinbaren Festigkeit dieser beiden Bodengattungen giebt es doch noch Vorsichtsmaßregeln zu ergreifen, um dauerhafte Werke darauf zu gründen. Man muß sich im Anfang überzeugen, daß unter dem Felsen oder der Steinmasse keine Höhlen sind, und daß ihre Mächtigkeit zum Tragen des darauf zu errichtenden Werks groß genug ist, ohne daß man Bruch zu befürchten hat. Wenn der Felsen oder die Steinmasse eine geringe Mächtigkeit haben, oder wenn sich Höhlen darin befinden, so muß man sie mit Mauerwerk ausfüllen oder mit Gewölben unterstützen. — Als man die Kirche in Gnadenthal (**Val-de-Grâce**) zu bauen anfieng, glaubte man die Fundamente auf eine sehr dauerhafte Art auszuführen, indem man sie auf eine Steinmasse legte. Aber kaum war man außerhalb des Bodens, als ein Theil des Gebäudes sich beträchtlich senkte. Nach einigen Untersuchungen fand man, daß der Theil, auf welchem man jenen errichtet hatte, unterhöhlt war, und man mußte die oberste Bank dieses Theils des Steinbruchs durch unterhalb angelegte Bauten stützen.

Hat man sich überzeugt, daß der Felsen, auf den man das Fundament legen soll, fest ist, so fängt man damit an, die Theile, auf welche man die ersten Schichten legen will, zu ebenen und zu nivelliren. Wenn der Felsen sehr uneben ist, so nivellirt man ihn bankweise (Tafel **CLXXVI**, Figur **8**); und damit die untern Theile nicht in den Fall kommen, sich zu setzen, führt man sie — wenn es möglich ist — mit behauenen oder groben Mauersteinen auf, die man nach Art der Alten ohne Mörtel bis zur Höhe der allgemeinen nivellirten Ebene legt. Ist man genöthigt, mit Bruchsteinen und Mörtel zu bauen, so muß man Sorge tragen, sie von Schichte zu Schichte zu stampfen, um das Setzen möglichst zu vermindern.

Wenn man bis zum allgemeinen Nivellement gekommen ist, so ist es passend, die Arbeit einige Zeit ruhen zu lassen, damit die Grundmauer eine gewisse Festigkeit erlangen kann, ehe man weiter darauf baut.

Sollte der Felsenboden zu uneben seyn, so kann man das Fundament ausführen vermittelst Kasten mit kleinen Steinen und Steinabfällen, die mit Mörtel von gutem Sand und frisch gelöschtem Kalk aufgemauert sind, wie das Betongemäuer oder das Mauerwerk von kleinen Bruchsteinen. Man sehe die Figuren **6** und **7**, Tafel **CLXXVI.**

Ist diese Arbeit gut ausgeführt und gestampft, wie wir es im **2.** Buch angegeben haben, so bildet sie eine massive Bank, die fester und dauerhafter ist als der beste Grund, und fähig, allen Fehlern des Bodens abzuhelfen, auf dem sie aufgeführt ist. Die Dicke und Breite dieser Mauerschichte muß mit dem Grad der Festigkeit des Grundes im Verhältniß stehen.

Die Festigkeit eines Bodens, wie die des Felsens, kann auch gestatten, die Fundamente nur auf Stützpunkte zu legen, die von einander getrennt und durch Bogen vereinigt sind, wie es die Römer bei mehreren Bauten dieser Art, welche Theile von Gebäuden und antiken Straßen tragen, ausgeführt haben.

Viertes Kapitel.

Von den Fundamenten im Wasser.

Erster Artikel.

Vitruv giebt, indem er von den Seehäfen spricht, umständlich die verschiedenen Mittel an, welche von den alten Römern bei Gründung der Hafendämme im Meere angewendet wurden.

Er drückt sich im **12.** Kapitel des **5.** Buchs folgendermaßen aus:[1])

„Was die im Wasser befindlichen Bauten betrifft, so folge hier ihre zweckmäßige Ausführung. — Man lasse von jener Erde (Puzzolan-Erde) kommen, die sich zwischen Cumä und dem Vorgebirge Minerva befindet, vermische zwei Theile davon mit einem Theil Kalk und bereite so einen Mörtel. Hierauf bilde man an dem bestimmten Ort Kasten von starken Pfosten und senke diese Kasten in das Wasser, wo sie vermittelst Ketten oder Querbalken in der bestimmten Lage festgehalten werden. Nachdem man den von diesen Kasten eingeschlossenen Raum unter dem Wasser gereinigt und geebnet hat, fülle man diesen Raum mit Bruchsteinen und dem nach eben beschriebener Art bereiteten Mörtel.“

---

1) *Liv. V, Cap. XII.*

Eae autem structurae, quae in aqua sunt futurae, videntur sic esse faciendae, uti portetur pulvis a regionibus, quae sunt a Cumis continuatae ad promontorium Minervae, isque misceatur uti in mortario duo ad unum respondeant. Deinde tunc in eo loco, qui definitus erit, arcae stipitibus robusteis et catenis inclusae in aquam dimittendae destinandaeque firmiter: deinde inter eas ex transtillis inferior pars sub aqua exaequenda et purganda, et caementis ex mortario materia mixta (quemadmodum supra scriptum est) ibi congerendum, donicum compleatur structurae spatium, quod fuerit inter arcas.

„Sollte aber der Ort seiner Lage nach so sehr dem heftigen Andrang der Wellen ausgesetzt seyn, daß es nicht möglich ist, die Kasten festzuhalten, so bilde man an dem Rand der Küste eine Platform so fest, als es möglich ist.“

„Zur Bildung dieser Plattform muß der Boden so zugerichtet seyn, daß weniger als die Hälfte horizontal und der übrige Theil nach dem Meere hin geneigt ist. Man baut auf dieser Seite und rückwärts Mauern von ungefähr $1\,^1/_2$ Fuß Dicke, deren Zwischenraum mit Sand ausgefüllt wird, um den geneigten Theil mit dem horizontalen gleich zu machen.“

„Auf dieser so gestützten horizontalen Ebene errichte man ein massives Mauerwerk so groß, als man für passend erachtet. Nach Beendigung läßt man dasselbe wenigstens zwei Monate ruhen, damit es trocken wird.“

„Nach Ablauf dieser Zeit reißt man die Mauern ein, welche den Sand halten, der alsdann von den Wellen des Meeres weggespült wird, und worauf sich die Steinmasse in das Meer stürzt. Indem man dieses so oft wiederholt, als es nöthig ist, kann mit den Bauten im Wasser vorgerückt werden. — Wir haben die Eigenschaften des Mörtels von Puzzolane im Vorhergehenden erklärt. (Man s. 1. Band, 1. Buch, Seite 198.)“

„An Orten, wo sich diese Erde nicht befindet, muß auf folgende Art verfahren werden: Man schließe den Raum, auf welchen man das

---

Sin autem propter fluctus aut impetus aperti pelagi destinatae arcae non potuerint continere, tunc ab ipsa terra, sive crepidine pulvinus quam firmissime struatur, isque pulvinus exaequata struatur planitie minus quam dimidiae partis; reliquum, quod est proxime littus, proclinatum latus habeat.

Deinde ad ipsam aquam et latera pulvino circiter sesquipedales margines struantur aequilibres ei planitiae, quae supra scripta est. Tunc proclinatio ea impleatur arena, et exaequetur cum margine iu planitia pulvini.

Deinde insuper eam exaequationem pila quam magna constituta fuerit, ibi struatur, eaque cum erit extructa, relinquatur ne minus duo menses, ut siccescat.

Tunc autem succidatur margo, quae sustinet arenam: ita arena fluctibus subruta efficiet in mare pilae precipitationem. Hac ratione quotiescunque opus fuerit, in aquam potuerit esse progressus. Hoc autem munus naturale habent ea loca, quae supra scripta sunt.

In quibus autem locis pulvis non nascitur, his rationibus erit faciendum, uti arcae duplices relatis tabulis et catenis colligatae in eo loco, qui finitus

Fundament legen will, durch einen hohlen Umfang ein, der aus zwei Wänden von Balken und Brettern besteht, welche durch Querhölzer verbunden sind (Figur **15** und **16**). Der Raum zwischen den beiden Wänden wird mit Thonerde und Bündeln von Sumpfkräutern (ulva palustris) ausgefüllt und gut zusammengetreten."

„Nachdem diese Ausfüllung gut bearbeitet ist, um sie möglichst dicht zu machen, bedient man sich der Wasserschraube (von Archimedes) und der Schöpfräder, indem man sie zum Ausschöpfen des Wassers innerhalb der Umfassung aufstellt. Ist der eingefaßte Raum auf diese Art trocken gelegt, so gräbt man nun für die Fundamente im Innern aus."

„Man gebe diesen Fundamenten, für die bis auf den festen Grund ausgegraben worden ist, mehr Breite als der Mauer, welche man darauf errichten will. Nachdem der Boden ausgehoben und getrocknet ist, fülle man den Raum mit Mauerwerk, das aus Bruchsteinen mit Mörtel von Kalk und Sand besteht. Wenn der Grund nicht fest ist, werden Pfähle von Erlen-, Oliven- oder Eichenholz mit angebrannten untern Enden eingerammt, und nachdem man sie mit Kohlen bedeckt hat, verfährt man, wie es im Vorhergehenden bei den Fundamenten der Mauern und Theater beschrieben worden ist. (Man sehe Seite **64** und **65** dieses Buches.)"

„Auf diesen Fundamenten errichtet man Mauern, deren Häupter oder Stirnflächen aus Hausteinen bestehen, die gut im Verband liegen, indem Fuge auf Voll kommt. Der übrige Theil ist ein Füllwerk

---

erit, constituantur et inter destinatas creta meronibus ex ulva palustri factis calcetur.

Cum ita bene calcatum et quam densissime fuerit, tunc cochleis, rotis, tympanis collocatis, locus qui in ea septione finitus fuerit exinaniatur sicceturque, et ibi inter septiones fundamenta fodiantur.

Si terrena erunt, usque ad solidum crassiora quam qui murus supra futurus erit, exinaniatur, sicceturque, et tunc structura ex caementis, calce et arena compleatur. Sin autem mollis locus erit, palis ustulatis alneis, aut oleagineis (aut robusteis) configatur et carbonibus compleatur, quemadmodum in theatrorum et muri fundationibus est scriptum.

Deinde tunc quadrato saxo murus dicatur juncturis quam longissimis, uti maxime medii lapides coagmentis contineantur. Tunc qui locus erit inter murum, ruderatione sive structura compleatur. Ita erit uti possit turris insuper aedificari.

aus Beton oder aus Mauerwerk von kleinen Bruchsteinen. Man kann auf Fundamente dieser Art sehr feste Thürme bauen."

Bemerkungen.

Perrault und der größte Theil der Commentatoren des Vitruv haben den wahren Sinn von dem Texte dieses Schriftstellers nicht aufgefaßt, indem sie ihn nach der Art erklären wollen, wie die Neuern beim Bau der Kastendämme mit — auf beiden Seiten durch Bindebalken verbundenen Pfosten und wie Pfähle in den Boden eingeschlagenen Bohlen verfahren.

Die Einfassungen beim Fundamentlegen im Meer, von denen Vitruv spricht, waren nur eine Art von Kasten ohne Boden, welche er mit dem Wort **arcae inclusae** bezeichnete. Wenn die Römer den Mörtel von Puzzolan-Erde und Bruchsteinen, die sie zusammen in den eingefaßten Raum ohne Wasserausschöpfung warfen, in Anwendung brachten, bildeten sie den Kasten aus einer Reihe von starken Pfosten (**stipitibus robusteis**), die durch Querhölzer verbunden waren. Man ließ diese Kasten in das Wasser nieder, wo sie mit Ketten befestigt wurden, um sie, bis dieselben gefüllt waren, fest zu halten (**aquam demittendae et catenis destinandaeque firmiter**).

Da der Mörtel von Puzzolan-Erde die Eigenschaft hat, in dem Wasser härter zu werden und mit den Bruchsteinen oder kleinen Steinen einen festen Körper zu bilden, so war es nicht nöthig, die Pfosten mit der Genauigkeit zusammenzufügen, welche bei gehörig verbundenen Pfosten und Spundpfählen verlangt wird. Es reichte hin, wenn sie nur so an einander schlossen, daß die kleinen Steine oder der mit Bruchsteinen vermischte Kies zurückgehalten wurden.

Dies ist auch die Meinung des Marquis von Galliani, eines der Uebersetzer des Vitruv. In einer Bemerkung über dieses Kapitel, wo er von diesen durch Bindebalken verbundenen Pfosten und Spundpfählen spricht, sagt er:

„Perrault, welcher dieses Mittel für alt hält, hat behauptet, daß **arca** ein auf beiden Seiten durch Bindebalken gehaltenes Holz bezeichne; aber Alles, was er in einer sehr großen Bemerkung sagt, um die Worte Vitruv's seiner Meinung anzupassen, scheint uns mit den Haaren herbeigezogen." Galliani schließt mit den Worten: „Es ist mir sehr klar, daß **arca**, wenn man ihm das Beiwort **inclusa** giebt,

nichts Anders bezeichnen kann, als die Umzäunung oder Einfaſſung, welche die Pfoſten bilden.“ —

Die andere Art der Einfaſſung nähert ſich mehr der unſerigen, die Fangdämme zu bilden. Sie war wie die doppelten — mit Bretern bekleideten Kaſten (**uti arcae duplices relatis tabulis**), die an dem Ort, wo man das Mauerwerk anlegen ſollte, durch Ketten feſtgehalten wurden (**catenis colligatae in eo loco, qui finitus erit**) (Figur **15** und **16**).

Der Raum zwiſchen den beiden Wänden war mit Thon und einem Kraut ausgefüllt, das man **ulva palustris** nannte. Es wurde in Päckchen gebunden und zuſammengetreten (**inter destinatas creta meronibus ex ulva palustri factis calcetur**).

Mehrere Ueberſetzer, unter Andern Philander und Barbaro, und nach ihnen Perrault, behaupten, daß man unter **meronibus** Säcke verſtehen müſſe, die aus der mit **ulva palustris** bezeichneten Pflanze gefertigt und mit Thon gefüllt waren. Aber dieſes Mittel ſcheint mir wenig für den Gegenſtand geeignet zu ſeyn, der darin beſteht, den Zwiſchenraum der Doppelwand genau auszufüllen, indem man den Thon zuſammentritt. Außerdem ſind die Herausgeber und Erklärer in dieſem Worte nicht übereinſtimmend: die einen leſen **heronibus**, die andern **pheronibus**. Es iſt wahrſcheinlich ein techniſches Wort, das von den Abſchreibern ſchlecht geſchrieben worden iſt und in andern Fällen einen Sack bezeichnen kann. —

In Betreff des Verfahrens, das maſſive Mauerwerk auf dem Rand der Meeresküſte (Figur **14**) zu bauen, hat Perrault die durch **pulvinus** bezeichnete Platform mit dem durch **pila** ausgedrückten Mauerwerk verwechſelt, obgleich Vitruv Sorge trägt, ſie zu unterſcheiden, indem er ſich folgendermaßen ausdrückt: **ab ipsa terra sive crepidine pulvinus quam fortissime struatur**, d. h. auf dem Land ſelbſt, oder auf dem Rand der Küſte baue man möglichſt dauerhaft eine Platform.

Uebrigens kann dieſes — durch Figur **14** dargeſtellte Verfahren, wenn man es den Umſtänden anpaßt, in außerordentlichen Fällen dienlich ſeyn. —

Belidor hat ſich in dem **2.** Theil ſeiner Waſſerbaukunſt (**Architecture hydraulique**) ſehr umſtändlich verbreitet über Alles, was Bezug hat auf die verſchiedenen Arten des Fundamentlegens im Waſſer, und beſonders in dem Meer. Er führt zu dem Ende die Arbeiten dieſer

Art an, die zu Dünkirchen, Cherbourg, Toulon und anderen Häfen ausgeführt worden sind. Da dieser Theil sehr gut verfaßt ist, so ziehen wir das aus, was zur Vervollständigung des von uns bereits Angeführten dienen kann, und fügen einige Bemerkungen bei. Im ersten Band des zweiten Theils (7. Kapitel, 11. Abschnitt, Seite 125) sagt Belidor bei Gelegenheit der Kastendämme:

„Wenn man den Ort, wo man einen Wasserdamm bauen will, nicht trocken legen kann, wie dieses in großen Flüssen und Häfen des mittelländischen Meeres der Fall ist, wo keine Ebbe und Fluth stattfinden, so bewerkstelligt man jenen durch eine Einfassung. Man setzt zu dem Ende zwei Reihen mit einander parallel laufender Pfähle in einer Entfernung von einander, die im Verhältniß zur Wasserhöhe steht; diese Pfahlreihen werden durch Bindebalken und Riegel in gehöriger Lage erhalten. Alsdann bekleidet man das Innere dieser Pfahlreihen mit Spundwänden, welche nun einen hohlen Raum oder Kasten bilden, den man mit Thon füllt, oder mit einer andern geschmeidigen Erde, oder selbst mit Kreide, die so brauchbar ist wie der Thon, wenn man sie gut geknetet hat.“ (Figur 9 und 10.)

Zuvor aber hebt man mittelst Erdräumern den Schlamm aus, der sich auf dem Grund befindet, um die Masse des Fangdammes auf eine größere Tiefe zu bringen, als das Bett des Meeres oder des Flusses ist, und dadurch das Eindringen des Wassers durch den Grund zu verhindern, was unfehlbar geschehen würde, da hier ein größerer Wasserdruck stattfindet als bei den übrigen Theilen in der Höhe. Die Spitze, welche man den Grundpfählen giebt, muß von der Beschaffenheit des Bodens abhängen, weßhalb man sich darüber durch sorgfältige Untersuchungen Gewißheit verschaffen muß.

„Zur guten Verwendung des Thons zerlegt man ihn in Stücke von der Größe eines Eies, um ihn zu reinigen und nachzusehen, ob er keinen Sand oder Kies enthält. Alsdann befeuchtet man ihn, um ihn mit den Füßen auf einem Bretterboden zu stampfen und zu kneten, welches sich erst den Tag nach der Anfeuchtung ausführen läßt, die aber weder zu viel noch zu wenig stattgefunden haben darf. Von dieser Masse macht man hierauf Ballen, die man in den Kasten wirft, aus welchem nach Maßgabe des Einfüllens das Wasser ausfließt. Die Arbeiter stampfen den Thon schichtweise vermittelst Handrammen mit langen Stielen so lange, bis man 2 Fuß über die Oberfläche

des Wassers gekommen ist, — beim Meer noch etwas höher, damit es auch im bewegten Zustand nicht darüber hinweggehen kann."

In Ermangelung des Thons kann man auch Erde verwenden; je schwerer und fetter diese aber ist – desto besser. Man muß Acht geben, daß sich darin weder Aeste noch Wurzeln, weder Kieselsteine noch Kies befinden. Man wirft die Erde in den Kasten in Schichten von **1** Fuß Dicke, welche man durch Stampfen auf **8** Zoll bringt.

Wenn die Erde sandig oder kiesartig ist, muß man auf der Seite, wo sie dem Wasser widerstehen soll, einen Letten- (Thon-) Damm von wenigstens **2** Fuß Dicke anwenden, und ihn **1 1/2** Fuß tief in den Grund gehen lassen.

Die Fangdämme von Erde müssen eine — der Tiefe des Wassers gleiche Dicke von **3** bis zu **9** Fuß haben; man giebt ihnen aber nie unter **3** Fuß. Was die Tiefe über **9** Fuß betrifft, so begnügt man sich, auf jede **3** Fuß Tiefe mehr **1** Fuß Dicke mehr zu nehmen. Demnach nimmt man bei **12, 15, 18, 21** . . . Fuß Tiefe **10, 11, 12, 13** . . . Fuß Dicke.

Werden die Kasten mit Thon gefüllt, so reicht eine Dicke von $^2/_3$ der Wasserhöhe hin, wenn diese zwischen **3** und **9** Fuß ist; beträgt die Tiefe mehr, so vergrößert man die Dicke, wie es soeben angegeben worden ist. — Diese hier bestimmte Dicke ist mehr durch Erfahrung als durch Rechnung gefunden worden. Man könnte übrigens dieselbe mehr methodisch durch ein rechtwinkliges Dreieck **ABC** (Figur **18**), dessen Grundlinie **BC** gleich ist dem dritten Theil der Höhe **AB**, bestimmen. Man nehme bei **A** die Höhe und zugehörige Dicke gleich **9** Fuß an, ziehe durch einen willkührlichen Punkt **D** eine mit der Grundlinie parallele Linie **DE** und setze diese gleich $^1/_3$ Fuß. Dieser Annahme gemäß ist dann **AD** gleich **1** Fuß und **DE** die Größe, welche man zu **9** Fuß zu addiren hat, um die Dicke zur Höhe **10** Fuß zu finden. Trägt man hierauf von **D** an weiter die angenommene Fußeinheit nach **B** hin, wodurch sich die Höhen **11, 12, 13** ꝛc. Fuß bestimmen, und zieht durch diese Punkte Linien, parallel mit der Grundlinie, so erhält man Dasjenige, was zur Dicke **9** Fuß zu addiren ist, um die jeder Höhe entsprechende Dicke zu finden.

Man kann auch mittelst dieser Figur die verschiedene Dicke bei jedem Grad der Festigkeit des Bodens bestimmen. Z. B. bei dem Thon zieht man eine Linie **fg**, so daß $\mathbf{fE} = {}^2/_3\mathbf{DE}$, $\mathbf{gC} = {}^2/_3\mathbf{BC}$ ist. Dann giebt immer das Stück der parallelen Linie zwischen **fg**

und EC Dasjenige, was man zur Dicke 6 Fuß bei 9 Fuß Höhe zu addiren hat, um die entsprechende Dicke für die Höhe, durch welche jene Parallele gezogen ist, zu finden.[1])

Man hält es für vortheilhaft, bei dem Profil des Fangdammes eher die Gestalt des Trapeziums als die des Rechtecks zu wählen, indem man den Wänden einen Hang nach außen zu giebt, — besonders, wenn der Damm den Meereswellen ausgesetzt seyn muß, die dann weniger angreifen können und deren Wirkung dadurch vermindert wird. — Die Dicke des Dammes muß im Verhältniß zu seiner Länge und seiner mehr oder weniger den Wellen ausgesetzten Lage stehen.

Zweiter Artikel. — Von den Grundpfählen, den Rosten von Zimmerholz und den Kasten.

Die Fundamentirung auf Grundpfählen oder auf einem Pfahlwerk ist fast ausschließlich von den Neuern bei Bauten in dem Wasser angewendet worden. Belidor sagt bei Gelegenheit der Brückenpfeiler (Wasserbaukunst, 2. Theil, S. 448.), daß, wenn man nicht auf eine Felsbank von besonderer Dicke und überall gleicher Festigkeit stoße, man durchaus Pfähle einrammen und gute Roste von Zimmerholz legen müsse. — Es giebt übrigens viele Fälle, wo man es nicht nöthig hat. Die Alten machten nur von den Grundpfählen Gebrauch, wenn der Grund durchaus schlecht und es nicht möglich war, einen festern Boden zu erreichen. Statt des Belegs von Zimmerholz nahmen sie lieber eine Schichte Betonmörtel oder von Mauerwerk aus kleinen Bruchsteinen und legten diese auf eine Kohlenschichte zur Erhaltung der Pfahlköpfe, die bis zur Horizontalebene des Bodens eingeschlagen oder abgeschnitten waren. Diese Mauerschichte gewann mit zunehmendem Alter an Festigkeit; dagegen wurde der Holzbeleg, wo sich Holz unmittelbar berührte, bald zerstört und die Bruchsteinausfüllung der Roste vom Wasser durchdrungen.

Diese Art der Fundamentirung auf Rost und Grundpfählen kann nur als ein Auskunftsmittel angesehen werden, das für wasserreiche Länder, wie Holland, erdacht worden ist, und das wir angenommen

---

1) Figur 18 auf Tafel CLXXVI, worauf sich diese Erklärungen beziehen, muß etwas geändert gedacht werden, was aber nicht schwer ist.
Anmerk. d. Uebers.

haben, als wir ihre Kanäle, Schleußen und andere Wasserbauten nachahmten, ohne darauf zu achten, ob die abweichende Bodenart nicht festere und dauerhaftere Mittel gestatte. Die Leichtigkeit, welche dieses Mittel bei der Anwendung darbietet, hat fast überall instinktartig zu seiner Annahme geleitet, obgleich es kostspieliger ist. Wirklich ist nichts einfacher, als Grundpfähle ins Kreuz (:·:) auf **3** oder **4** Fuß Abstand von einander zu setzen, einen auf den Grundpfählen befestigten Rost von Zimmerstücken zu legen, und — nachdem man die sich hier bildenden Zwischenräume mit Bruchsteinen ausgefüllt hat — Alles mit einem Beleg von Bohlen, die auf den Zimmerstücken befestigt sind, zu bedecken. Nachdem dieses geschehen ist, baut man vertrauensvoll mit Quadersteinen darauf, und hat noch die Vorsorge, die unterste Schichte derselben mit Klammern zu versehen.

In der Folge, um die Fangdämme weniger kostspielig zu machen, hat man Mittel gefunden, die Pfähle unter dem Wasser auf gleicher Höhe abzuschneiden; und anstatt des Holzbelegs hat man große Kasten — ähnlich denen bei der Westminsterbrücke in London gebrauchten — angewendet. Dieses den Umständen angepaßte Mittel ist das ausschließliche Verfahren in der Praxis geworden: alle in neuerer Zeit gebauten Brückenpfeiler wurden auf diese Art gegründet, wie auch der Grund beschaffen war. —

Wir können uns nicht der Bemerkung enthalten, daß diese Verbindung von Holz und Mauerwerk nie die unbegränzte Festigkeit und Dauerhaftigkeit geben kann wie der vollständige Mauerbau nach Art der Alten, welcher mit der Zeit eine unzerstörbare Masse bildete. Diejenigen, welche diese Eigenschaft nur dem Mörtel der alten Römer beilegen wollen, mögen die Ingenieure und Architekten befragen, welche Gelegenheit hatten, Fundamentmauern von einiger Bedeutung, erst seit **40** bis **50** Jahren mit gewöhnlichem Mörtel gebaut, abtragen zu lassen.

Wenn man genöthigt ist, Grundpfähle zu setzen und Roste von Zimmerstücken darauf zu legen, so ist es noch besser, die Bohlenlage wegzulassen und sie durch eine Schichte Betongemäuer zu ersetzen, um das Mauerwerk in den Gefächern des Rostes mit dem darauf errichteten zu verbinden, nachdem man jenes Mauerwerk gut gestampft und die Holzstücke mit Kohlenstaub bedeckt hat. Auf jene Schichte von Beton, die gut nivellirt, gestampft und ringsum mit Holzstücken eingefaßt ist, versetze man eingerückt eine Schichte von rauhen Quadern in

Mörtel. Man hat nicht nöthig, diese Steine mit Klammern zu versehen, wenn sie sorgfältig gelegt und mit der Handramme gestoßen werden. Hierbei braucht man sich nicht um die horizontale Lage der oberen Fläche zu bekümmern, indem man dieselbe durch ein allgemeines Gleichmachen herstellen kann, wenn es nöthig ist.

Umdämmtes Mauerwerk im Wasser.

In den südlichen Departements von Frankreich und an den Küsten des Mittelmeeres, wo die Arbeiter das Bauen mit Mörtel gut verstehen, begnügt man sich beim Wasserbau mit der Bildung von Umdämmungen, wie sie für die Fangdämme, Figur **9** und **10**, angeführt worden sind. Den Spundpfählen in den beiden Reihen von Pfosten giebt man eine Dicke, die mit der Wasserhöhe, dem Druck der Grundmauer auf die Wände und der Tiefe des Eindringens in den Boden im Verhältniß steht. Die Größe dieses Eindringens muß noch **2** Fuß im festen oder guten Boden betragen, damit man den Schlamm des Grundes bis zu diesem festen Boden wegnehmen kann.

Nachdem man den Schlamm weggeräumt und den festen Grund erreicht hat, wirft man in diese Umdämmung abwechselnd eine Schichte von Betonmörtel und eine von Steinen, jede möglichst gleich gemacht und gestampft mittelst Handrammen, welche lange Stiele haben. Hiermit wird bis über den Wasserspiegel fortgefahren.

Wenn diese Arbeiten im Herbst beendigt sind, läßt man sie während des Winters ruhen, damit das Mauerwerk Zeit hat, sich zu einem festen Körper zu bilden. Auf diesen setzt man eine Schichte von groben Mauersteinen, wie wir es im Vorhergehenden angegeben haben, und darauf dann die außerhalb des Wassers befindliche Mauer von Hau-, Bruch- oder Backsteinen. — Auf diese Art baute man in Toulon **1748** einen der Dämme für den neuen Binnenhafen.

Belidor, welcher diese Bauart anwendete, bemerkt, daß man nicht zu befürchten habe, daß — wie bei den mit Quadersteinen bekleideten Werken — einem sich losreißenden Steine mehrere andere folgen und nach und nach alles im Wasser Befindliche in Trümmern zerfalle. Er bemerkt ferner, daß man Ersparnisse bei den Umdämmungen und Ausschöpfungen, die oft ebenso viel Kosten verursachen als der Gegenstand selbst, hoch anrechnen müsse. Er fügt hinzu: „Muß man nicht erstaunen, daß ein Verfahren, von welchem die Alten einen so guten Gebrauch machten, außer an den Küsten des mittelländischen Meeres

so wenig angewendet wird? Aber man könnte es gleichfalls im Ozean und in Flüssen anwenden, um einen Quai zu gründen; — auch einen Brückenpfeiler an Stellen, die niemals trocken sind oder wo stets eine große Wassertiefe bleibt. Ferner ist dieses Mittel vorzüglich in vielen Fällen bei Fundamentirungen anwendbar, welche man im Trocknen mit Kasten macht, die man auf den Grund laufen läßt."

Wenn man in dem Meer ein Fort oder einen Hafendamm von großer Breite zu bauen hat, beginnt man mit den Mauern des Umfangs, ohne sich um die Wallgänge zu bekümmern, die man später ausführt, indem die Mitte mit jedem beliebigen Material ausgefüllt wird. Man giebt diesen Mauern eine der Wassertiefe verhältnißmäßige Dicke. Die innere Fläche ist senkrecht, und die äußere hat eine Böschung von $^1/_5$ oder $^1/_6$ der Höhe zur Anlage.

Bereitungsart des Betonmörtels für die Hafendämme des neuen Binnenhafens zu Toulon.

Belidor sagt darüber in seiner Wasserbaukunst in der **2.** Abtheilung des **2.** Bandes auf Seite **186**:

„Nachdem man einen ebenen und gut gestampften Platz ausgesucht hat, nimmt man **12** Theile Puzzolan-Erde und **6** Theile von gut körnigem und nicht staubigem Sande. Man mengt diese und macht eine kreisförmige Einfassung von **5** bis **6** Fuß Durchmesser. Ins Innere derselben kommen **9** Theile von ungelöschtem und gut gebranntem Kalk, der mit einem eisernen Hammer zerschlagen wird, damit er sich schneller löscht. Beim Löschen gießt man nach und nach bei den Meerbauten Seewasser zu und rührt die Masse von Zeit zu Zeit mit dem Rücken von mehreren Mörtelhauen (Krücken) um. Sobald sie teigartig geworden ist, setzt man Puzzolan-Erde und Sand zu. Nachdem auch dieses gut gemengt ist, werden ferner **13** Theile von Steinabfällen und **3** Theile von zerstoßenem Hammerschlag beigefügt. Hat man keinen Hammerschlag, so begnügt man sich auch mit **16** Theilen (statt **13**) von Steinabfällen oder Gerölle, deren Dicke aber die eines Hühnereies nicht übersteigen darf. Die ganze Masse wird nun eine Stunde lang kräftig umgerührt, indem man sie mittelst Schaufeln zur bessern Vereinigung der Theile bald hier-, bald dorthin wirft. Alsdann bildet man Haufen und läßt diese sich **24** Stunden lang im Sommer in warmen Ländern verkörpern; im Winter sind hierzu bisweilen **3** bis **4** Tage nöthig, wobei man sie aber vor Regen schützt

und nicht eher verwendet, als bis sie nur mit der Haue weggenommen werden können."

In Ermangelung von Puzzolane wendet man Traß an, Tournayische Asche, das Cement von Scheidewasser (ciment d'eau-forte[1]), oder Ziegelmehl. Statt des Seewassers kann man sich auch mit Vortheil des süßen Wassers bedienen, in welchem einige Zeit altes Eisen gelegen hat.

An vielen Orten ist der gewöhnliche Mörtel von Kalk und Sand, mit Kieselsteinen vermischt, hinreichend, ob er gleich weniger schnell zu einem festen Körper wird; jedoch mit der Zeit erreicht er dieselbe Festigkeit. Ein wesentlicher Gegenstand ist das gute Löschen des Kalkes, welches darin besteht, daß man dazu nur die nothwendige Wassermenge nimmt, und daß man besorgt ist, den gelöschten Kalk vor seinem Erkalten gut mit Sand zu vermischen.

Die halb gebrannten Steine, welche sich beim Löschen des Kalkes nicht auflösen konnten, pulverisirt, sind dem besten Cement gleich; ebenso wie die thonhaltigen Steine, welche man nur mit einem halben Brand versieht. — Der Beton- oder Wassermörtel, von diesen verschiedenen Materialien gefertigt und ein wenig fest angewendet, breitet sich aus und senkt sich, wenn er auf den Grund des Wassers kommt.

Damit sich der Beton bei einer gewissen Tiefe des Wassers beim Niederfallen in demselben nicht zu sehr verdünnt, kann man von einem Kasten Gebrauch machen, ähnlich dem bei den erwähnten Bauten zu Toulon angewendeten. Der Boden dieses Kastens hat auf der einen Seite Scharniere, und auf der andern Seite wird er durch einen Schließhaken festgehalten, den man vermittelst einer Schnur oder dünnen Kette öffnen kann, wenn der Kasten bis auf 2 oder 3 Fuß über den Grund des Wassers hinuntergelassen ist, oder über das Mauerwerk von Beton, welches schon auf diesem Grunde liegt. Der Boden des Kastens wird auf der Seite, wo er sich öffnen kann, durch Ketten so geöffnet erhalten, daß er eine Neigung von ungefähr 45 Grad hat, bei welcher der Beton abgleitet. Der Kasten muß gut gefügt und im Innern verkittet seyn; und damit sich der Beton nicht auf dem Boden anhängt, bedeckt man diesen mit einer Lage von Sand

---

1) Sehr wahrscheinlich ist nur damit der Rückstand bei der Zerlegung des Salpeters mittelst Thon, wie dieses in manchen Scheidewasser-Brennereien gebräuchlich war, gemeint. Anmerk. d. Uebers.

oder feinem Kies. Der Kasten, welcher 3 bis 4 Fuß in allen seinen Abmessungen hat, wird an einen Kreuzhaspel oder an eine Welle mit einem Sprossenrad befestigt. Diese Welle ruht auf einem Gestell, welches unten Walzen hat, um es auf der Holzeinfassung der Umdämmung nach Maßgabe des Gebrauchs bewegen zu können (Figur 1, Tafel CLXXVII). —

Die soeben mitgetheilte Anweisung über die Bereitungsart des Betonmörtels zeigt — wie wir es im 1. Buch des 1. Bandes auf Seite 195 bemerkt haben — die größte Aehnlichkeit mit dem, was Vitruv im 7. Kapitel des 8. Buchs über die Bereitung des **signinum** oder des Wassermörtels der Römer gesagt hat. Aber was vorzüglich in der angeführten Stelle die Aufmerksamkeit zu fesseln verdient — ist nach unserer Ansicht das Beiwort **vehementissima**, welches dem Worte Kalk beigefügt wird. Dieser Ausdruck scheint uns zu offenbaren, daß die Vervollkommnung, welche man in der Bearbeitung des Mauerwerks der Römer findet, nicht die einzige Ursache der Dauerhaftigkeit desselben ist, sondern daß sie wirklich einen hohen Grad der Kenntniß der verschiedenen Eigenschaften jenes Materials besaßen. Vitruv's **Calx vehementissima** zeigt alle Eigenschaften unseres Wasserkalkes (**chaux hydraulique**).

Von den mittelst Holzeinfassung oder großen Kasten von Zimmerstücken gebauten Hafendämmen.

Zur Ausführung dauerhafter Werke bei Anwendung dieses Verfahrens muß die Ausfüllung so bewerkstelligt seyn, daß sie in der Folge ihre Einfassung entbehren kann, da diese mit der Zeit zerstört wird. Wenn die Ausfüllung aus gutem Mauerwerk besteht, so ist sie oft den Bauten aus behauenen Quadersteinen vorzuziehen. Besteht sie dagegen bloß aus Steinen oder andern trocknen Materialien, welche ohne Zwischenmittel keinen zusammenhängenden Körper bilden können, so zerfällt Alles mit der Einfassung.

Hat man sich für eine Ausfüllung mit Mauerwerk entschieden, so muß die Holzeinfassung auf die Art angeordnet werden, daß kein Holzstück im Innern quer durchgeht; denn das Mauerwerk hierdurch theilend, verhindert das Holz dieses, eine zusammenhängende Masse zu bilden. Man kann als Beispiel die Hafendämme von Dünkirchen anführen, von denen Belidor im 2. Band der 2. Abtheilung seiner

Wasserbaukunst (**Architecture hydraulique**) auf Seite **104** Folgendes sagt:

„Indem wir Schritt vor Schritt die zu Dünkirchen am Hafen vorgenommenen Verbesserungen angeben wollen, muß uns bekannt seyn, daß **20** Jahre nach Erbauung der Hafendämme aus Faschinen unternommen wurde, sie dauerhafter durch Kasten zu bauen, welche mit Stein gefüllt waren. Da diese Hafendämme durch eine wohl verstandene Holzverbindung, wobei keine überflüssigen Holzstücke angebracht seyn durften, einen großen Widerstand zu leisten hatten, so bemühten sich die geschicktesten Ingenieure, welche die Arbeiten leiten sollten, Entwürfe von dem zweckmäßigsten Verfahren zu machen. Diese Entwürfe wurden alsdann dem Herrn von Vauban u. A. zur Prüfung vorgelegt.“

Die Figuren **2**, **3** und **4** stellen drei Profile von Holzverbindungen dar, welche von Vauban für die Ausführung genehmigt wurden. Diese Holzverbindungen waren so gut erdacht, als sie, bloß als Zimmerwerke betrachtet, seyn konnten. Wir glauben aber, wie Belidor, daß diese Bauten weniger geeignet sind, dem Andrang der Meereswellen zu widerstehen, als das massive Mauerwerk; denn die Wellen äußern auf die Zimmerwerke Erschütterungen, welche endlich alle Verbindungen locker machen und der Masse mit der Zeit die ursprüngliche Festigkeit rauben.

Die Füllwerke von bloßen Steinen — so gut sie auch ausgeführt seyn mögen — verhindern nicht jene Wirkung wie ein gutes Mauerwerk von Bruchsteinen und dünnem Mörtel, wodurch jede weitere innere Verbindung überflüssig wird, und welches mit der Zeit — wenn es gut ausgeführt ist — eine unzerstörbare Masse bildet.

Von den zur Gründung der Pfeiler der Westminster-Brücke verwendeten Kasten.

Diese Brücke hat **13** halbkreisförmige Bogen (**Bélidor, architecture hydraulique, 2e. partie, tome II, page 199.**), deren Anfang sich **1** Fuß über dem niedrigen Wasserstand befindet. Der mittelste — größte Bogen hat **76** Fuß Durchmesser und die ihn tragenden Pfeiler haben **17** Fuß Dicke. Die Durchmesser der andern Bogen links und rechts nehmen stufenweise um **4** Fuß ab und die Dicke ihrer Pfeiler um **1** Fuß.

Die Stelle der Themse, an welcher diese Brücke erbaut ist, hat **6** Fuß Tiefe zur Zeit des niedrigen Wasserstandes und **15** Fuß beim hohen Wasserstand; der mittlere beträgt ungefähr **11** Fuß. In der Tiefe **3** oder **4** Fuß unter der Sohle befindet sich eine Kieslage von bedeutender Mächtigkeit, auf welche man die Pfeilerfundamente gelegt hat.

Labalie, ein Baumeister aus der Schweiz, der mit dem Bau dieser Brücke beauftragt wurde, wendete zur Gründung der Pfeiler Kasten an, weil er die Schwierigkeit voraussah, gewöhnliche Umdämmungen auf einem Kiesgrund auszuführen; denn das Wasser würde beständig durchgedrungen seyn, und man hätte mit Wasserausschöpfen kein Ende erreicht, so gut auch die Umdämmung ausgeführt worden wäre.

Diese Kasten (Figur **5** und **6**) hatten **80** Fuß Länge, **30** Fuß Breite und **16** Fuß Höhe, damit rings um die Pfeiler ein hinreichender Raum zum Arbeiten bliebe.

Zur Vermeidung der Schwierigkeiten und Kosten bei Einbringung eines Kastens in das Wasser ließ man ihn auf einem Gerüst zusammensetzen, das auf dem Flusse selbst nahe am Ufer und an einem für das Flottmachen am günstigsten gelegenen Orte errichtet war (wie bei einem großen und platten Wasserfahrzeug, dessen Form er auch hatte) um ihn an die Stelle zu führen, wo man ihn befestigen mußte.

Der Boden des Kastens bestand aus einer gitterförmigen Verbindung **G** von starken eichenen Lang- und Querhölzern. Die Seitenwände **C** waren aus langen viereckigen Balken von Tannen, von **1** Fuß Dicke, in horizontaler Lage auf einander, gut zusammengefügt und durch Bolzen gehalten. Ueberdieß waren sie im Innern mit Bohlen auch von Tannen, von **3** Zoll Dicke, in vertikaler Richtung die horizontalen Balken durchkreuzend, belegt. Diese Seiten hatten unten **18** Zoll Dicke, welche sich nach oben bis zu **15** Zoll verlor. Sie wurden durch starke eiserne, mit Schrauben befestigte Bänder und durch Winkelbänder an den Ecken im Innern zusammengehalten, so daß man sie wegnehmen konnte, wenn der Pfeiler die Höhe der Ufer erreicht hatte.

Figur **5** zeigt die Verankerung des Kastens vor dem Niedersetzen auf den Boden, bei welchem aber zuvor bis auf den festen Grund ausgeräumt seyn muß.

Um zu verhindern, daß die Strömung in diese Aushöhlung wieder Schlamm herbeiführt, hatte man oberhalb — um eine Schutzwehr zu bewerkstelligen — parallel mit dem Vordertheil des Kastens Pfähle

mit Fugen eingerammt, zur Aufnahme von Schutzbrettern bestimmt, die noch durch Unterlaghölzer festgehalten wurden.

Y zeigt 2 Reihen sehr starker Pfähle mit horizontalen — durch Ringe gesteckten Balken, um das Werk gegen den Anstoß großer Fahrzeuge zu schützen.

Stromabwärts befand sich eine ähnliche Pfahlreihe mit Querbalken, desgleichen auch längs der großen Seiten, und dieselben bildeten zusammen eine Einfassung, die nur für die Dienstfahrzeuge eine Oeffnung übrig ließ.

Unter den Einfassungspfählen befanden sich 6 mit einer Art von Brillen oder durchbrochenen Steinen, die dazu bestimmt waren, den Kasten in die richtige Stellung vermittelst Tauen zu bringen und darin festzuhalten. Um den Kasten gleichmäßig in das Wasser senken zu können, hatte man in eine der Facen eine kleine Oeffnung angebracht, verschlossen durch ein Schutzbrett, welches man vermittelst einer Winde — wie eine Schleusenthür — heben und niederlassen konnte. In den stumpfen Winkeln waren Pumpen aufgestellt, durch die man das eingelassene Wasser in sehr kurzer Zeit wieder fortschaffen konnte, nachdem der Kasten befestigt war; oder um ihn wieder flottzumachen, wenn er sich schlecht gesenkt hatte. —

Ob es gleich nicht zu läugnen ist, daß dieses Mittel in Bezug auf Leichtigkeit und Oekonomie sehr gut erdacht war, so muß man doch bemerken, daß diese Pfeiler ohne Kasten und Rost durch Umdämmungen nach der von Tardif vorgeschlagenen Methode zu gründen waren; und dadurch, daß man die Sohle der bis auf den Kies bewerkstelligten Ausgrabung mit einer starken Schichte Betonmörtel bedeckte, durch welche, da sie einen für Wasser undurchdringlichen Grund bildete, das Ausschöpfen möglich geworden wäre. Auf diese gut aufgeführte Schichte hätte man eine andere von groben Quadersteinen gelegt und gestampft, wie wir es im Vorhergehenden angegeben haben. Dieses würde eine festere und dauerhaftere Grundlage gebildet haben als der Rost, welcher sich nicht so gut dem Boden anpaßt.

Die Beweggründe für die Annahme dieses Verfahrens, die Brückenpfeiler in Kasten zu gründen, sind in Frankreich eher Oekonomie und Leichtigkeit der Ausführung als Festigkeit und Dauerhaftigkeit, welche unterdessen bei dieser Art Werke die Hauptsache seyn sollten.

Dritter Artikel. — Von den Fundamenten im Wasser mittelst des Steinwurfs.

Dieses Mittel, welches man bisweilen zur Vermeidung der Umdämmungen und des Wasserausschöpfens gebraucht, wurde von den Alten zur Gründung von Hafendämmen oder abgesonderten Bauten im Meere angewendet. Sie führten diese nie mit trockenen Steinen aus; sondern sie verwendeten dazu Kasten, Fluß- und selbst Seeschiffe, welche sie mit ungelöschtem Kalk und Puzzolan-Erde füllten und dann versenkten. Auf diese Art wurde der Theil des Hafendammes gegründet, den der Kaiser Claudius mitten im Meer vor dem Hafen von Ostia erbauen ließ. Hierzu wendete man unter andern das Schiff an, auf welchem Caligula einen der größten Obelisken aus Aegypten hatte kommen lassen, von welchem der — gegenwärtig mitten auf dem Sankt-Petersplatz zu Rom errichtete nur ein Bruchstück ist.

Die Fundamente durch verlorene Steine (den Steinwurf) ohne Mörtel haben nur Festigkeit durch ihre Gestalt und durch die Größe ihrer Masse. Sie erfordern Böschungen, deren Anlage wenigstens das Doppelte der Höhe seyn muß. — Um sie auf eine dauerhafte Art auszuführen, muß die unterste Schichte der versenkten Steine durch Langhölzer gehalten werden, welche durch Querhölzer verbunden und in den Zusammenfügungen durch große umfassende ausgeschnittene Steine (Figur 9) beschwert sind. Abgesehen davon, daß dieses Mittel dem Holzrahmen eine größere Festigkeit giebt, verschafft es ihm auch noch ein größeres specifisches Gewicht, wodurch er auf dem Grund des Wassers festgehalten wird. Man beobachtet beim Versenken der Steine eine solche Anordnung und Zusammensetzung, daß jene am geeignetsten sind, eine feste Masse zu bilden. Wenn man keinen Mörtel dabei anwenden will, muß man wenigstens Sand, Thon oder Erde dabei gebrauchen, um die Zwischenräume der Steine auszufüllen und ihnen dadurch eine festere Lage zu geben. Außer in der untersten Steinschichte zwischen den Rahmstücken darf man keine zu großen Steine gebrauchen, da sich diese immer schlecht an einander ordnen; man muß sie aber doch von einer Größe von ungefähr $^1/_4$ Kubikfuß nehmen. Die von vieleckiger Gestalt ordnen sich am besten an einander und bilden eine Art von **opus incertum**, das für diese Arbeit bessere Dienste leistet als die schichtenweise Anordnung.

Die Fundamente durch Steinwürfe gelingen im Meer besser als in Flüssen — besonders, wenn man sie ohne Mörtel ausführt. Da

nämlich die Strömung in diesen stets nach einerlei Richtung wirkt, so durchdringt dieselbe endlich die Fundamentirung und reißt sie mit sich fort, wenn diese ihrer Wirkung ausgesetzt ist. — Man muß diese Art Bauten mit der größten Schnelligkeit ausführen und die günstigste Zeit benutzen. Die Materialien müssen zu dem Ende im Voraus herbeigeschafft werden, die Wasserfahrzeuge und Geräthschaften zur Hand seyn, und so viele Arbeiter, als nöthig sind, um die Arbeit ohne Unterbrechung bis 1 Fuß unter den niedrigen Wasserstand zu bringen.

Man darf nicht hoffen, auf dieser Gründung von Steinwürfen ein dauerhaftes Werk zu bauen, bevor 1 Jahr verflossen ist. Während dieser Zeit bewirken die Meereswogen das hier mögliche Zusammensinken, und die Steine ordnen sich an einander auf die schicklichste Weise.

Um die Steine unveränderlich festzuhalten, muß man sie mit einer starken Schichte von Betonmörtel bedecken. — Nachdem man eine Lage von groben Quadersteinen auf den Steinwurf gebracht hat, führt man nun auf eine solide Weise die beabsichtigten Bauten aus. Dieses Verfahren scheint mir vorzüglicher als der Rost und die Bohlenlage — wenigstens, wenn diese von den Umständen nicht durchaus gefordert werden.

Vierte Abtheilung.

Von dem Widerstande (Stabilität) und Tragvermögen (Stärke) der Mauern und Pfeiler (Stützpunkte).

Erstes Kapitel.

Regeln in Bezug auf die Stabilität.

Die Dicke, welche man den Mauern und Stützpunkten zur gehörigen Stabilität zu geben hat, hängt nicht allein von der zu tragenden Belastung und von der Stärke der Steine ab, woraus sie zusammengesetzt sind, sondern auch von dem Verhältniß ihrer Grundfläche zu ihrer Höhe.

Es ist gewiß, daß — wenn man nur auf das Gewicht, womit ein Stützpunkt belastet ist, Rücksicht nimmt — die Dicke desselben um so größer seyn muß, je weniger Festigkeit die Steine haben, aus denen er besteht. Wenn demnach die durch eine Mauer oder einen Pfeiler zu tragende Last bei der härtesten und stärksten Pariser-Steinart, dem Klinker, **15** Zoll Dicke erforderte; so würde man, um dieselbe Mauerstärke bei den Liaissteinen (von Paris) zu erhalten, jenen eine Dicke von **17** Zoll geben müssen. Diese Dicke müßte ferner seyn:

bei dem harten Felsstein . . .	**22**	Zoll	**6**	Linien
„ der freien Bank	**27**	„	**0**	„
„ dem harten gewöhnlichen Stein	**33**	„	**0**	„
„ „ Burgunder-Backstein .	**45**	„	**0**	„
„ „ Stein der Vorstadt St. Marceau	**60**	„	**0**	„
„ „ Lambourde-Stein . .	**68**	„	**0**	„
„ „ harten Stein von Vergelé	**80**	„	**0**	„

bei dem harten Stein von Conflans .	92	Zoll	0	Linien
„ „ „ „ „ St. Leu .	105	„	0	„
„ angerührtem Gyps	110	„	0	„
„ dem mittlern Stein von Conflans	115	„	0	„
„ „ Mörtel	120	„	0	„
„ „ weichen Vergelé-Stein . .	124	„	0	„
„ „ „ Conflans	136	„	0	„
„ „ „ St. Leu	150	„	0	„

Da die Säulen oft als Stützpunkte gebraucht werden, so haben wir die nachfolgende Tabelle berechnet, welche die Durchmesser für Säulen von verschiedenem Marmor und Stein enthält, damit jede eine Last von 1 Million Pfund tragen könne, welches die Hälfte von dem Gewicht ist, wobei das Zermalmtwerden dieser Materialien beginnt:

Basalt von Auvergne	9	Zoll	0	Linien
Porphyr	9	„	3	„
Schwedischer Basalt	9	„	5	„
Orientalischer rosenfarbiger Granit . . .	13	„	10	„
Dunkelgelber Granit aus den Vogesen .	14	„	5	„
Schwarzer Marmor aus Flandern . . .	14	„	8	„
Grauer Granit aus der Bretagne . . .	16	„	1	„
Grüner Granit aus den Vogesen	16	„	7	„
Choin-Stein von Fay	16	„	8	„
Stein aus Istrien	18	„	0	„
Blauer Stein aus Florenz	18	„	4	„
Stein aus Meudon	18	„	8	„
Liaisstein	19	„	9	„
Grauer Granit aus den Vogesen	20	„	0	„
Marmor aus Flandern, Cervelas genannt .	20	„	6	„
Türkisch-blauer Marmor	23	„	6	„
Travertin-Stein aus Rom	23	„	8	„
Geäderter weißer Marmor	23	„	10	„
Werkstein aus Senlis	25	„	11	„
Felsstein aus Arcueil	25	„	8	„
Freie Bank von Vernon	26	„	0	„
Stein aus Verberie.	26	„	10	„
Felsstein aus Saint-Maur	29	„	7	„
Stein aus Gamelon nahe bei Compiegne .	33	„	7	„
Stein aus Tonnere	36	„	4	„

Stein aus Conflans, mittlerer	54 Zoll 7 Linien
Stein aus Saint-Leu, mittlerer	58 „ 3 „

Die vorstehenden Tabellen, welche nach den über die Stärke der Steine angestellten Versuchen berechnet sind, können dazu dienen, die scheinbare Kühnheit bei mehreren Bauten zu würdigen, deren Mauern oder Stützpunkte durch ihre Leichtigkeit in Erstaunen setzen, — vorzüglich bei den gothischen Gebäuden, wo man oft äußerst hohe Säulen sieht, die nicht mehr als **7** bis **8** Zoll Dicke haben und beim ersten Anblick eine außerordentliche Last zu tragen scheinen. —

In der Kirche Saint-Toussaint zu Angers bewundert man zwei Säulen von **11** Zoll Durchmesser und **24** Fuß Höhe, welche die Anlaufsteine eines gothischen Kreuzgewölbes von **63** Fuß Länge und **31 1/2** Fuß Breite tragen. Dieses durch die Figuren **3** und **4** auf Tafel **CLXXIX** dargestellte Gewölbe ist in kleinen Bruchsteinen, von **5** Zoll Dicke mit Rippen in Stein aufgeführt. Man findet durch Rechnung, daß die auf diesen Säulen ruhende Last aus **982** Kubikfuß besteht, die — den Kubikfuß zu **130** Pfund angenommen — **127660** Pfund wiegen.

Jede dieser Säulen besteht aus drei Stücken einer harten Steinart, die auf falschem Lager liegt. Sie ist in Nummer **127** auf Seite **110** des **1.** Bandes angeführt. Der Kubikfuß wiegt **180** Pfund, und **1** Zoll Grundfläche trägt vor dem Zerdrücken **6650** Pfund. Nimmt man aber hiervon nur die Hälfte für die Belastung von **1** Zoll der Grundfläche, so könnten diese Säulen, deren beide Grundflächen **2 . 95** Zoll = **190** Zoll haben, eine Last von **631750** tragen, also eine **5** mal größere, als wirklich der Fall ist.

Was dies Erstaunen erregt, ist die geringe Dicke des Säulenschafts, dessen Höhe **20 1/2** mal der Durchmesser ist, im Verhältniß zu der beträchtlichen Ausdehnung des Gewölbes, welches sie tragen. Man muß aber bemerken, daß dieses Gewölbe sehr wenig Dicke hat und daß es auch durch Mauern von **4 1/2** Fuß Dicke getragen wird, so daß das Gewicht, welches auf den Säulen lastet, senkrecht auf sie fällt. Es ist klar, daß diese Säulen, bei ihrer geringen Grundfläche im Verhältniß zu ihrer Höhe, nicht im Stand wären, der geringsten Bewegung oder dem geringsten schiefen Druck, wodurch sie mit dem von ihnen getragenen Gewölbe umstürzen würden, ohne jene Mauern zu widerstehen.

Man sieht hieraus, daß es nicht hinreicht, wenn ein Stützpunkt zum Tragen der Belastung Grundfläche genug hat, — sie muß ihm außerdem die nöthige Widerstandsfähigkeit gegen schiefen Druck und gegen Bewegung, denen jeder Bau ausgesetzt ist, gewähren.[1])

Was das Bewundernswürdige der großen Belastung der Säulen betrifft, so muß man bemerken, daß die Steinart, woraus sie bestehen, 8mal fester ist als der Stein von mittlerer Festigkeit, bei welchem die Säulen einen Durchmesser von 31 Zoll nöthig hätten. Aehnliche Säulen würden dann auch nichts Erstaunliches haben, weil sie nur $7\,^1/_2$ Durchmesser lang wären, was das Verhältniß der solidesten — der toskanischen Ordnung ist, und diese Säulen wären dann im Verhältniß zu ihrer Stärke so belastet, wie die angeführten.

Hierzu gehört aber ferner folgende Bemerkung: — Nimmt man nach der Erfahrung an, daß der Stein von mittlerer Festigkeit nur $^2/_3$ so viel als der feste Stein kostet, daß aber das Behauen von diesem 3mal theurer ist als von jenem, daß man dagegen wieder für die Säulen von dem mittleren Stein 8mal so viel in Bezug auf Kubikinhalt und 4mal so viel an Ausdehnung der Oberfläche bedarf

---

1). Der alte Speisesaal der Abtei Saint-Martin-des-Champs zu Paris (heutzutage das Conservatorium der Künste und Gewerbe), Figur 5 und 6, bietet ein nicht weniger merkwürdiges Beispiel dieser Leichtigkeit dar. Dieses Schiff ist durch eine doppelte Reihe gothischer Kreuzgewölbe gedeckt, deren Anlaufsteine sich in der Mitte über einer Reihe dünner gothischer Säulen (colonnes en perches) befinden, die 27 Fuß 11 Zoll 10 Linien bis zu den Anfängern haben. Diese Säulen bestehen aus drei Theilen, wovon der erste, welcher das Piedestal bildet, achteckig ist, 4 Fuß 7 Zoll Höhe und 17 Zoll Durchmesser hat. Der zweite Theil, welcher auf jenem steht und die erste Ordnung bildet, hat 10 Fuß 10 Zoll Höhe, 12 Zoll Durchmesser und ist rund. Der dritte Theil, welcher die zweite Ordnung bildet, hat 12 Fuß 5 Zoll Höhe und 10 Zoll Durchmesser. Die Breite des Refectoriums ist 30 Fuß, die Mauern haben an dem Fuß der Fenster 2 Fuß 6 Zoll Dicke und 6 Fuß gerade an den Strebepfeilern. »Man glaubt (sagt Piganiol de la Force), daß Peter von Montereau unter der Regierung des heiligen Ludwigs dieses schöne Gebäude aufgeführt hat.« — Beschreibung von Paris, 4. Bd. S. 35, Ausgabe von 1765.

Die Figuren 1 und 2 derselben Tafel stellen einen Theil des Grundrisses und den Schnitt nach der Breite der kleinen Kirche von Cluny auf dem Platz Sorbonne dar. Man kann diese Kirche, von welcher später beim Druck der Gewölbe dieser Art die Rede seyn wird, als ein Beispiel von sehr leichter Construction anführen.

als von dem festen; so folgt daraus, daß die Säulen aus festem Stein 7 mal weniger kosten als aus mittelfestem. Dieses beweis't, wie viel ökonomischer es in gewissen Fällen ist, feste Steine zu nehmen — statt weicher oder mittelfester.

Da indessen die Dicke der Mauern und Pfeiler eher im Verhältniß zur Höhe als in dem zur Last stehen muß, so folgt; daß die Stabilität der Säulen von mittelfesten Steinen ebenso viel über dem ist, was die Dauerhaftigkeit fordert, als die der Säulen von harten Steinen darunter sind. Daraus kann man den Schluß ziehen, daß in gewissen Fällen die Werke von festem Stein, gut ausgeführt, $^1/_3$ weniger kosten können als die von mittelfestem Stein, und $^1/_2$ so viel als die von weichem — bei einer gleichen Dauerhaftigkeit, und selbst bei einer noch größeren. —

Die Mauern oder Stützpunkte aus Bruchsteinen in Gyps oder Mörtel müssen eine größere Dicke haben als die aus weichen Hausteinen; weil der verbindende Mörtel oder Gyps stets weniger Festigkeit besitzt als der auch am wenigsten feste Stein; und weil das Mauerwerk nie so gut ausgeführt ist, daß die Bruchsteine ebenso viel Verbindung im Innern haben, als es im Aeußern scheint. Gewöhnlich befinden sich in der Mitte nur Staub und trockene Steinabfälle.

Nimmt man aber auch an, die Werke seyen gut gebaut nnd wohl mit Mörtel versehen, wie die Alten es gethan haben, so ist doch eine Bruchsteinmauer von **2** Fuß Dicke nicht mehr werth als eine gewöhnliche Hausteinmauer von **1** Fuß Dicke. Da indessen eine Mauer von Hausteinen **4** mal so viel kostet als eine von Bruchsteinen, so ist es nicht vortheilhaft, jener den Vorzug zu geben, es sey dann, daß man wegen Raummangel dazu genöthigt ist.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß bei den gewöhnlichen Gebäuden, welche in der Regel nicht über **80** Fuß hoch sind, die den Mauern und Stützpunkten zur gehörigen Festigkeit gegebene Dicke weit beträchtlicher ist, als das sie belastende Gewicht es erforderte, indem dieses nicht **10** bis **12000** Pfund auf den Fuß der Grundfläche übersteigt. Nimmt man nur die Hälfte von der Last an, welche die gewöhnlich festen Steine vor dem Zerdrücken tragen, so findet man, daß **1** Fuß der Grundfläche **150000** Pfund tragen würde, und bei weichem Stein **1** Fuß gleich **36000** Pfund. Dieses reduzirt die Dicke der Mauern von hartem Stein auf **1** Zoll, und die der Mauern von weichem auf **4** Zoll. Nun ist es aber klar, daß man solche Mauern wegen

mangelnder Stabilität nicht bauen und erhalten kann, ganz abgesehen von der Belastung; denn man sieht täglich Mauern von **15** bis **18** Zoll Dicke unter einer geringern Belastung als **12000** Pfund auf den Fuß zusammenstürzen, weil ihre Stabilität oder ihre Construction mangelhaft ist. —

Um zur Kenntniß der gehörigen Dicke der Mauern, abgesehen von irgend einem System, zu gelangen, und um über diesen Gegenstand eine auf wohl begründete Thatsachen gestützte Vorschrift festzustellen, habe ich Gebäude jeder Art, welche seit mehr als **18** Jahrhunderten in Frankreich und Italien gebaut worden sind, besehen und untersucht.

An allen Orten, welche ich besucht habe, fand ich kein so gut ausgeführtes, so dauerhaftes und so wohl erhaltenes Mauerwerk als in den Ruinen der Stadt Adrienne, welche in der Campagna von Rom nahe bei Tivoli liegt. Diese Mauern, welche größtentheils zu Wohngebäuden dienten, bestehen seit mehr als **1650** Jahren und sind seit mehr als **10** Jahrhunderte allen Einflüssen der Witterung ausgesetzt. Die Zeit scheint sie auf eine Höhe gebracht zu haben, bei welcher freistehende Mauern, die weder Gewölbe noch Decken haben, sich erhalten können. — Die höchsten Mauern, welche sich zu großen Theilen vereinigen, haben **30** Fuß Höhe und **1** Fuß **10** Zoll Dicke oder **2** römische Fuß, welches etwas weniger als der **16.** Theil der Höhe ist. Die große Mauer des Pöcile, von der schon im **3.** Buch auf Seite **300** die Rede war, ist **27** $^1/_2$ Zoll oder **2** $^1/_2$ Fuß römisch dick und **25** Fuß hoch, also die Dicke der **11.** Theil der Höhe. Da diese Mauer, welche **613** Fuß lang ist, durchaus freisteht, so kann man daraus entnehmen, daß eine Mauer dieser Art, welche gut gebaut und auf einen guten — keine Senkung zulassenden Grund gesetzt ist, alle Stabilität hat, deren sie fähig ist, wenn ihre Höhe das **11** fache ihrer Dicke beträgt Diese Mauer und die andern, von denen im Vorhergehenden die Rede war, sind aus Bruchsteingemäuer aufgeführt, äußerlich mit kleinen rautenförmig geordneten Tuffsteinen bekleidet und durch andere Tuffsteine oder horizontal gelegte Backsteinreihen eingerahmt, wie man es auf Tafel **LXI**, Figur **4** und **7**, dargestellt sieht.

Es ist zu bemerken, daß diese Mauern, welche überall gut mit Mörtel bekleidet sind und gegenwärtig nur ein an dem Fundament festhaltendes Stück bilden, eine größere Stabilität haben als die besten

Hausteinmauern und die Mauern mit horizontalen Lagen von gewöhnlichen Bruchsteinen.

Erster Artikel. — Von der Stabilität der Mauern.

Man kann bei den Bauwerken drei Grade der Stabilität unterscheiden, nämlich: eine große, eine mittlere und eine geringe.

Aus den Beobachtungen an einer sehr großen Menge von Gebäuden jeder Art läßt sich schließen: daß eine Mauer eine große Stabilität hat, wenn ihre Dicke der **8.** Theil ihrer Höhe ist, daß der **10.** Theil ihr eine mittlere giebt — und der **12.** Theil die geringste, welche sie haben kann.

Da indessen bei den Gebäuden die Mauern an einander gesetzt sind, so folgt daraus, daß diese bei einer geringern Dicke bisweilen eine hinreichende Stabilität haben können. —

Um sich einen richtigen Begriff von dem Unterschied zwischen einer gänzlich freistehenden Mauer und einer — sich an eine oder an zwei andere anschließenden zu machen, kann man aus viereckigen Steinstücken oder aus Backsteinen kleine Mauern bauen, wie sie durch die Figuren **21**, **22** und **23** auf Tafel **CLXXXXII** dargestellt sind. Die erste stellt eine freistehende Mauer dar, die zweite zwei — einen Winkel bildende Mauern, und die dritte zwei Mauern, die mit einer dritten zwei rechte Winkel bilden.

Es ist leicht einzusehen, daß in dem ersten Fall die von einer horizontalen Kraft **MN** gedrückte Mauer, Figur **21**, nur Widerstand im Verhältniß der Breite der Grundfläche leistet; daß in dem zweiten ein Theil der Mauer **EF**, Figur **22**, der Wirkung der Kraft **MN** widersteht, so daß sich nur das Dreieck **HFI** lostrennen wird; und daß endlich in dem dritten Fall, der durch Figur **23** dargestellt ist, die Kraft **MN** nur das Dreieck **CGH** umstürzen wird, welches um so größer ist, als die Mauern **CD** und **HI** weiter von einander entfernt seyn werden.

In dem ersten Fall kann ein ungleiches Setzen des Grundes oder des Baues die Wirkung der Kraft **MN** hervorbringen; es reicht zum Umstürzen der Mauer hin, daß unten eine horizontale Trennung entstehe.

In dem zweiten Fall muß die Trennung eine schiefe Richtung haben, welches eine größere Kraftäußerung **MN** erfordert.

Endlich muß sich im dritten Falle beim Umstürzen der Mauer diese in drei Richtungen trennen, welches eine noch größere Kraftäußerung **MN** nöthig macht.

Es ist einleuchtend, daß der Widerstand der Mauer zwischen zwei andern in dem Verhältniß wächst, als die Mauern **CD** und **HI** sich einander nähern. Bei einer äußersten Annäherung wird nämlich die Trennung unmöglich seyn, und bei einer großen Entfernung wird der mittlere Theil wenig mehr als eine einzeln stehende Mauer widerstehen. —

Mauern, welche einen Raum einschließen, sind in dem Fall der erwähnten Mauer, denn sie unterstützen sich wechselseitig an ihren Enden; ihre Dicke muß daher im Verhältniß ihrer Länge zunehmen.

Die leichte und einfache Methode, welche wir zur Bestimmung dieser Dicke in allen Fällen angeben werden, ist das Ergebniß aus einer großen Menge von Versuchen, Beobachtungen und Rechnungen.

Es sey **ABCD**, Figur **2** auf Tafel **CLXXVIII**, die Fläche einer der großen Mauern, welche das Rechteck **EFGH**, Figur **1**, einschließen sollen. Nachdem man die Diagonale **BD** gezogen hat, trage man auf dieselbe von **B** nach **d** den **8.** Theil der Höhe, wenn man der Mauer viel Festigkeit geben will, — den **9.** oder **10.** Theil für eine mittlere Festigkeit und den **11.** oder **12** Theil für eine geringere. Zieht man durch den Punkt **d** eine Linie parallel **AB**, so giebt die Entfernung dieser beiden Parallelen die Dicke für die großen Mauern **EF** und **GH** an, deren Länge gleich **AD** ist.

Man erhält die Dicke der Mauern **EH** und **FH**, indem man ihre Länge von **A** bis **D′** trägt, und — nachdem man die Diagonale gezogen hat — verfährt wie bei den erstern.

Haben die Mauern, welche einen Raum einschließen, verschiedene Länge bei gleicher Höhe, wie Figur **3** zeigt, so kann man das Verfahren abkürzen, indem man einen Kreisbogen aus **B**, Figur **4**, mit einem Halbmesser beschreibt, welcher der **8.**, **10.**, **12.** oder irgend ein anderer für schicklich gehaltener Theil der Höhe ist, je nachdem man einen festen, mittleren oder leichten Bau haben will. Man trägt hierauf die Längen **EF**, **FG**, **GH** und **HE** von **A** bis **D**, **D′**, **D″** und **D‴**; und, nachdem man die Rechtecke **AC**, **AC′**, **AC″** und **AC‴** gezeichnet hat, zieht man vom gemeinschaftlichen Punkt **B** die Diagonalen **BD**, **BD′** **BD″** und **BD‴**, welche den kleinen — aus **B** beschriebenen Kreisbogen in verschiedenen Punkten schneiden, durch

welche man Parallelen mit **AB** führt, die in ihren Abständen von **AB** die Dicke jeder dieser Mauern — ihrer Länge verhältnißmäßig für eine gleiche Stabilität — angeben.

Man hat in Figur **7** das Verfahren zur Auffindung der verschiedenen Dicke der Mauern zusammengestellt, welche die Figuren **5**, **6**, **8** und **9** bilden und von gleicher Höhe sind. In jener Figur ist **AD** die Seite des regelmäßigen Sechsecks Figur **9**, **AD′** die des regelmäßigen Fünfecks Figur **8**, **AD″** die des Quadrats Figur **5** und **AD‴** die des gleichseitigen Dreiecks Figur **6**.

Es ist klar, daß man durch das soeben angegebene Verfahren die Dicke im Verhältniß der Länge und Höhe der Mauern vermehrt; denn weder die eine noch die andere, oder beide, können vergrößert oder verkleinert werden, ohne daß es auch mit der Diagonale geschieht und zwar in demselben Verhältniß.

Es läßt sich auch die Dicke der Mauern, die wir geometrisch gefunden haben, durch Rechnung finden. Man zeichne zu dem Ende eine Figur, welche den Figuren für die vorhergegangenen Beispiele ähnlich ist, und setze eine einfache Proportion an. Wenn nämlich die Figur nach einem Maßstab gezeichnet ist, groß genug, um Zolle danach angeben zu können, so mißt man mittelst dieses Maßstabs die Länge der Diagonale. Da man nun die drei Seiten des Dreiecks **ABD**, welches dem kleinen Dreieck **Bde** ähnlich ist, kennt, so hat man: **BD** verhält sich zu **Bd** gleich wie **AD** zu **ed**.

Beispiel: Die Länge **AD** der Mauer sey **28** Fuß, ihre Höhe **AB** gleich **12** Fuß, so findet man die Diagonale gleich **30** Fuß **5**$^1/_2$ Zoll. Nimmt man den **9**. Theil von **AB** = **16** Zoll, welche von **B** nach **d** zu tragen sind, so sagt man nun: **30** Fuß **6** Zoll geben **16** Zoll, wie viel **18** Fuß? — und man findet **ed** = **14** Zoll **8** Linien.

Man kann auch diese Dicke durch trigonometrische Rechnung finden, indem man zwei Proportionen bildet. Durch die erste findet man den Winkel **ABD**, welchen die Diagonale mit der Vertikalen **BA** einschließt, und durch die zweite die Dicke **ed**. Es sey **AB** der **sin. tot.**, so hat man **12** : **28** = **sin. tot.** : **tng. ABD**, und aus dieser Proportion erhält man **ABD** = **66° 40′**. Nimmt man nun **Bd** als **sin. tot.** an, so ist **sin. tot.** : **sin. 60° 40′** = **16** : **ed**, woraus sich **ed** = **14** Zoll **8** Linien wie vorhin ergiebt.

Wenn man die verschiedenen Formen betrachtet, welche ein von Mauern eingeschlossener Raum haben kann, so erkennt man leicht, daß

je mehr Seiten die diesen Raum einschließende Figur hat, desto kleiner wird jede Seite, wie man es in den Figuren **6**, **5**, **8** und **9**, die gleichen Flächeninhalt einschließen, sehen kann. Daraus folgt, daß je mehr Seiten der von Mauern eingeschlossene Raum hat, eine desto geringere Dicke ist für diese Mauern nöthig.

Algebraische Methode, einen gegebenen Flächeninhalt durch ein regelmäßiges Polygon zu umschließen.

Man denke sich das regelmäßige Polygon durch Linien, welche von der Mitte **C**, Figur **8**, nach den Ecken hingehen, in so viele Dreiecke zerlegt, als jenes Polygon Seiten hat. In einem dieser Dreiecke **ACB** fälle man von **C** einen Perpendikel **CD** auf **AB**, welches die Seite des Polygons ist. Der Inhalt dieses Dreiecks ist gleich dem Produkt aus **DB**, welches die Hälfte von **AB** ist, in **CD**, oder gleich dem Rechteck **DCFB**. Wenn man **DB** mit **x**, **CD** mit **y** und den gegebenen Flächeninhalt mit **p** bezeichnet, so hat man:

für das gleichseitige Dreieck $= x \cdot y \cdot 3 = p$, folglich $xy = \frac{p}{3}$;

„ „ Quadrat . . . $= xy \cdot 4 = p$, „ $xy = \frac{p}{4}$;

„ „ regelmäßige Fünfeck $= xy \cdot 5 = p$, „ $xy = \frac{p}{5}$;

„ „ „ Sechseck $= xy \cdot 6 = p$, „ $xy = \frac{p}{6}$.

Zur Auflösung dieser Gleichungen, welche zwei unbekannte Größen enthalten, muß man das Verhältniß von x und y kennen, das gleich dem Verhältniß der Sinusse der den Seiten **DB** und **CD** gegenüber liegenden Winkel ist.

Im gleichseitigen Dreieck ist dieses Verhältniß wie der Sinus von **60°** zum Sinus von **30°**, gleich wie **86603** zu **50000**, gleich wie $8^2/_3$ zu **5** $=$ **26** : **15**. Hiernach ist $x : y = 26 : 15$, oder $15x = 26y$, woraus $y = \frac{15x}{26}$. Substituirt man diesen Werth in die Gleichung $xy = \frac{p}{3}$, so hat man $\frac{15x^2}{26} = \frac{p}{3}$, woraus $x^2 = \frac{26p}{45}$ und $x = \sqrt{\frac{26p}{45}}$. — Es sey der gegebene Flächeninhalt gleich

3600, so hat man $x = \sqrt{\frac{3600 \cdot 26}{45}} = 45{,}6$, woraus die Seite AB $= 2 \cdot 45{,}6 = 91{,}2$ folgt.

Beim Quadrat ist $x = y$, und setzt man diesen Werth von y in $xy = \frac{p}{4}$, so hat man $x^2 = \frac{p}{4}$ oder $x = {}^1/_2\sqrt{p}$, und die Seite AB selbst $= \sqrt{p}$, was man auch ohne dieses algebraische Verfahren wissen konnte. Es ist also $AB = \sqrt{3600} = 60$.

Bei dem regelmäßigen Fünfeck ist $x : y =$ sin. 36 : sin. 54 $= 58779 : 80902$, woraus $y = \frac{80902\,x}{58779}$. Setzt man diesen Werth in die Gleichung $xy = \frac{p}{5}$, so erhält man $\frac{80902\,x^2}{58779} = \frac{3600}{5}$, und $x = \sqrt{\frac{58779 \cdot 720}{80902}}$, woraus sich nach ausgeführter Rechnung ergiebt

$x = 22{,}87$ und die Seite $AB = 45{,}74$.

Bei dem regelmäßigen Sechseck hat man $x : y =$ sin. 30 : sin. 60° $= 50000 : 86603 = 5 : 8^2/_3$, woraus man $y = \frac{26\,x}{15}$ erhält. Setzt man diesen Werth in $xy = \frac{p}{6}$, so ergiebt sich $\frac{26x^2}{15} = 600$, und hieraus $x^2 = \frac{600 \cdot 15}{26}$, folglich $x = \sqrt{346{,}15} = 18{,}61$, woraus die Seite $AB = 37{,}22$ folgt.

Geometrisches Verfahren für dieselbe Aufgabe.

Man habe einen gegebenen Flächeninhalt durch ein regelmäßiges Fünfeck zu umschließen, so zeichne man eins von irgend einer Größe oder bloß das eine der gleichen Dreiecke ABC, aus welchen dasselbe zusammengesetzt ist. Dieses Dreieck hat zur Grundlinie die Seite und zur Spitze den Mittelpunkt. Man fälle aus dieser Spitze auf die Grundlinie den Perpendikel CD, wodurch dieselbe in zwei gleiche Theile getheilt wird, und der Inhalt ist gleich dem des Rechtecks CDBF.

Auf die Seite AB, welche man nöthigenfalls verlängert, trage man CD von D nach E, und über BE als Durchmesser beschreibe man einen Halbkreis, welcher CD im Punkt G schneidet. GD ist dann die Seite eines Quadrats, welches mit dem Rechteck CDBF gleichen

Flächeninhalt hat. — Da die Seiten ähnlicher Figuren in dem Verhältniß der Quadratwurzeln aus ihren Inhalten stehen, so suche man die Quadratwurzel aus dem gegebenen Inhalt des Dreiecks und trage dieselbe von **D** nach **g**; von diesem Punkt aus ziehe man dann Parallelen **ge** und **gb**, welche auf **AB** die Punkte **e** und **b** bestimmen. Hierdurch erhält man **Db** die Hälfte der Seite des gesuchten regelmäßigen Polygons und **De** den Halbmesser des in dasselbe beschriebenen Kreises. Dieses ist klar, da die Dreiecke **EGB** und **egb** ähnlich sind, woraus sich ergiebt **BD : DE = bD : De.** —

Man kann im Allgemeinen aus dem Lehrsatz, daß die Seiten der ähnlichen Figuren im Verhältniß der Quadratwurzeln aus ihren Inhalten stehen, ein sehr einfaches Mittel herleiten, irgend eine Figur in einen gegebenen Inhalt zu reduziren. Zu dem Ende muß man einen Reduktionswinkel bilden, Figur **10**, dessen beide gleiche Schenkel gleich sind der Quadratwurzel aus dem größern Inhalt, und worin die Sehne des aus der Spitze mit dieser Linie zwischen den Schenkeln beschriebenen Bogens gleich ist der Quadratwurzel aus dem kleinern Inhalt. Es sey der größere Flächeninhalt gleich **1156** und der kleinere, in welchen man die Figur reduziren will, gleich **529**; so ziehe man eine Linie, auf welche man von **A** bis **B** die $\sqrt{1156} = 34$ trägt. Dann beschreibe man aus **A** mit **AB** einen Bogen und mache aus **B** mit der $\sqrt{529} = 23$ einen Durchschnitt **g** in demselben. Man ziehe hierauf **Ag**, wodurch der Reduktionswinkel **gAB** erhalten wird, mit dessen Hülfe man die Figur reduziren kann, indem man alle Abmessungen der größern Figur von **A** aus auf **AB** trägt und mit denselben aus **A** Bogen beschreibt, deren Sehnen die gesuchten Seiten sind.

Wenn nicht eine Reduktion verlangt wird, sondern die Zeichnung einer Figur, deren Inhalt und Gestalt gegeben sind, so zeichnet man eine Figur von dieser Gestalt und irgend einem — aber größern Inhalt und bringt diesen auf den vorgeschriebenen. — —

Da der Kreis als ein Polygon von einer sehr großen Anzahl sehr kleiner Seiten betrachtet werden kann, so folgt daraus, das ein kreisförmiger Umfang mit einer sehr geringen Dicke bestehen könnte. Dieses wird leicht durch ein sehr einfaches Experiment gezeigt: nimmt man nämlich ein großes Blatt Papier, so wird es nie stehen bleiben, wenn es eine Ebene bildet; biegt man es aber zu einem hohlen Cylinder zusammen, so bleibt es mit einer gewissen Stabilität stehen,

obgleich die ihm als Basis dienende Dicke noch nicht der **1000**. Theil der Höhe seyn mag.

Da indessen die Mauern eine gewisse Dicke haben müssen, damit sie wegen ihrer Theile, die sich trennen können, fest zusammenhalten, so kann man einen kreisförmigen Umfang wie ein regelmäßiges Polygon von zwölf Seiten betrachten und seine Dicke nach dem vorerwähnten Verfahren bestimmen.

Oder auch — zur Vereinfachung des Verfahrens — man suche die Dicke einer geraden Mauer, deren Länge gleich ist der Hälfte des Halbmessers.

Nehmen wir z. B. einen kreisförmigen Umfang von **56** Fuß Durchmesser und **18** Fuß Höhe an, und wir wollen die Dicke desselben bestimmen, so bilden wir ein Rechteck **ABCD**, Figur **2**, dessen Grundlinie **AD** gleich der Hälfte des Halbmessers, also gleich **14** Fuß, und dessen Höhe **AB** gleich **18** Fuß ist. Nachdem die Diagonale **BD** gezogen ist, tragen wir darauf von **B** bis **d** den **9**. Theil der Höhe, also **2** Fuß, und ziehen durch **d** eine Parallele mit **BA**, deren Abstand von einander gleich der gesuchten Dicke der Mauer ist und $14^3/_4$ Zoll beträgt.

Um diese Aufgabe durch Rechnung zu lösen, addire man das Quadrat der Höhe zu dem der Hälfte des Halbmessers, also $18^2 + 14^2 = 324 + 196$, und ziehe aus der Summe **520** die Quadratwurzel, welche gleich **22,8** und die Größe der Diagonale **BD** ist. Man bilde hierauf die Proportion: **22,8** verhält sich zur Hälfte des Halbmessers (= **14** Fuß), gleichwie der **9**. Theil der Höhe (= **2** Fuß) zu einem vierten Glied, welches man gleich **14,74** Zoll findet.

Die äußere Mauer der Kirche, der Rotunde des heiligen Stephanus zu Rom, auf Tafel **CLXXXI**, bildet einen kreisförmigen Umfang von **198** Fuß Durchmesser. Diese Mauer, welche aus Bruchsteinen aufgeführt und mit Backsteinen bekleidet ist, hat **2** Fuß **4** Zoll Dicke und $22^1/_2$ Fuß Höhe. — Wendet man hierbei die vorstehende Regel an, so findet man die Diagonale des Rechtecks, das zur einen Seite die Polygonseite gleich der Hälfte des Halbmessers und zur andern $22^1/_2$ Fuß hat, gleich $\sqrt{(49^1/_2)^2 + (22^1/_2)^2}$, welches nach ausgeführter Rechnung **54,37** giebt. Aus der Proportion **54,37 : 49,5** $= \frac{22^1/_2}{9}$: **x** findet man **x**, die Dicke der Mauer, = **2** Fuß **3** Zoll **4** Linien statt **2** Fuß **4** Zoll.

Diese Uebereinstimmung der von uns vorgeschlagenen Regel bei einer Mauer, die einen beinahe ebenso großen Durchmesser als die äußere Mauer der Getraidehalle zu Paris hat, und die seit mehr als 15 Jahrhunderte besteht, kann einen Begriff von der Genauigkeit der Regel geben.

Zweiter Artikel. — Von der Dicke der Mauern bei Gebäuden, die nicht überwölbt sind.

Diese Mauern, welche gewöhnlich keine so großen Abstände von einander haben als die für unbedeckte Umfassungen, erhalten sich mit einer geringern Dicke — besonders, wenn sie durch Decken oder Dächer verbunden sind, die eine gehörige Einrichtung haben.

Es giebt sehr große Gebäude, wie die alten Basiliken in Rom, welche nur mit einem Dache bedeckt sind; andere haben noch eine einfache Decke unter dem Dache, die Palläste und Wohngebäude aber oft mehrere Decken in Etagen unter demselben. —

Wir wollen hier mit den Gebäuden, welche bloß ein Dach von Zimmerwerk haben, den Anfang machen, da sie die einfachsten nach den Ringmauern sind.

Unter den Gebäuden dieser Art giebt es solche, welche zusammenhängende Stützpunkte haben, wie die Mauern, die sich wechselseitig verbinden und halten; andere haben getrennte Stützpunkte, wie die Pfeiler, Säulen oder Pilaster, welche durch Bogen verbunden sind.

Wenn das Zimmerwerk am Dach eines Gebäudes gut ausgeführt und daher weit entfernt ist, der Dauerhaftigkeit der Mauern und Stützpunkte zu schaden, so dient es noch zur Erhaltung derselben.

Es giebt mehrere große Gebäude, deren Mauern und Widerlager sich nicht ohne das Zimmerwerk der Dächer und Decken halten könnten. — Die Kirche des heiligen Paulus außerhalb der Mauern zu Rom, dargestellt auf Tafel **CLXXXIV**, Figur **1**, hat fünf Schiffe, welche durch vier — mit Gewölbebogen verbundenen Säulenreihen gebilde sind, auf denen Mauern ruhen, welche das Zimmerwerk des Daches tragen, — wie man es in dem Querschnitt auf Tafel **CLXXX** sieht. Das mittlere Schiff hat **23,83** Meter oder **73 1/2** Fuß Breite und **30 1/4** Meter oder **93** Fuß **10** Zoll Höhe. Die dieses Schiff bildenden Mauern sind auf Säulen von **10,31** Meter oder **31** Fuß **9** Zoll Höhe gesetzt, und die Dicke derselben beträgt etwas weniger als **3** Fuß, also ist sie nur der **32.** Theil ihrer Höhe.

Die höchsten Mauern der Stadt Adrienne, welche sich bis jetzt aufrecht erhalten haben, sind **16** mal so hoch als dick und haben **16,81** Meter oder **51** Fuß **9** Zoll Länge. Diese Mauern, welche sehr große Säle einschlossen, waren undurchbrochen in ihrer ganzen Ausdehnung und wurden durch andere an ihren Enden gehalten. Man kann demnach annehmen, daß — wenn die Mauern der Kirche des heiligen Paulus nicht durch das Zimmerwerk am Dach des großen Schiffes gebunden und durch das der Seitenschiffe gestützt wären — dieselben sich nicht erhalten könnten. [1]) Es ist ebenso mit den Mauern, welche das Schiff der Kirche der heiligen Sabina bilden, die in Figur **2** auf Tafel **CLXXXIV** im Grundriß und auf Tafel **CLXXX** im Durchschnitt dargestellt ist. Diese Mauern, welche ebenfalls auf Säulen ruhen, haben **16,9** Meter oder **52** Fuß Höhe, **47,1** Meter oder **145** Fuß Länge und wenig mehr als **2** Fuß Dicke, also den **26.** Theil der Höhe.

Vergleicht man aber die Dicke dieser Mauern mit der Höhe der niedern Seiten, die den größten abgesonderten Theil bilden, so findet man, daß bei der Kirche des heiligen Paulus diese Dicke nur der **17.** Theil und bei der Kirche der heiligen Sabina nur der **13.** ist. Bei anderen Kirchen mit Säulen ist die geringste Mauerdicke der **12.** Theil der Höhe der großen abgesonderten Mauer. Diese Kirchen sind: St. Maria-Maggiore und St. Maria zu Transtevere, St. Chrysogonus und St. Peter in Vinculis zu Rom, die St. Laurenz- und Heilige-Geist-Kirche zu Florenz, St. Philipp von Neri zu Neapel, St. Joseph und St. Dominikus der Große zu Palermo. —

Es ist zu bemerken, daß die den Mauern zu gebende Dicke ebenso von der Art ihres Baues und von den dabei verwendeten Materialien abhängt, als von ihrer Höhe und Belastung. Eine Bruchstein- oder eine Hausteinmauer von **12** Zoll Dicke, bei welcher die einzelnen Steine die ganze Dicke der Mauer einnehmen, ist oft stärker als eine von **18** bis **20** Zoll Dicke, deren einzelne Steine nur die Hälfte oder den

---

1) Diese Voraussicht der Theorie ist nur zu sehr gerechtfertigt worden bei der Feuersbrunst, welche die St. Paul's-Kirche vor den Mauern in der Nacht vom 15. auf den 16. Juli 1823 zerstört hat. Das Gemälde, welches die Herren Allaux und Lesueur — damals Pensionnäre der Akademie von Frankreich — uns von den Ruinen dieses Gebäudes mitgetheilt haben, können keinen Zweifel in dieser Beziehung lassen. — Man sehe: **Vues choisies des monumens antiques de Rome. — Paris, 1826.**

dritten Theil der Dicke haben und die in der Mitte mit kleinen Steinen ausgefüllt sind, welche die Arbeiter oft nur mit Erde und ohne Mörtel einlegen. Auf diese Weise ist der größte Theil der gemeinschaftlichen Mauern (Brandmauern) zu Paris aufgeführt. Ich habe deren gesehen, welche sich bei der durch Balkendecken verursachten Belastung, von welcher die auf der einen Seite immer größer war als die auf der andern, in zwei Theile spalteten.

Man darf übrigens nicht aus dem Auge verlieren, daß es eher der Widerstand (die Stabilität) gegen Seitendruck als der gegen vertikalen Druck ist, worauf sich die Dauerhaftigkeit der Gebäude gründet. Denn es ist gewiß, daß eine Mauer von hartem Stein und von **4** Zoll Dicke mehr Stärke gegen vertikalen Druck hat, als sie zum Tragen der Last bedarf, welche man den Mauern von **18** Zoll Dicke bei den höchsten Häusern, also von **5** bis **6** Stockwerken, anvertraut; indessen ist es klar, daß eine solche Mauer wegen geringer Breite der Grundfläche nicht Stabilität genug haben würde.

Die besondere Untersuchung, welche ich an ungefähr **280** Gebäuden jeder Art, alten und neuen, sowohl in Frankreich als in Italien, angestellt habe, lehrte mich, daß bei den Gebäuden, welche ein zweiseitiges Dach mit Dachbindern (Dachstühlen) in Zimmerstücken, mit oder ohne Balkendecke, von der Anordnung haben, daß das Ausweichen der Mauern verhindert wird, — die geringste Dicke der in Bruch- oder Backsteinen gut construirten Mauern der **24**. Theil der Tiefe im Lichten des Gebäudes ist.

An den Privathäusern, welche durch Balkendecken in mehrere Stockwerke getheilt sind, haben wir die Dicke der äußern Mauern (Haupt- oder Frontmauern) von **15** bis **24** Zoll gefunden, — die der gemeinschaftlichen Mauern von **16** bis **20** Zoll, — und die der Scheidemauern von **12** bis **18** Zoll.

An den größern Gebäuden haben die äußern Mauern von **2** bis **3** Fuß Dicke, die gemeinschaftlichen von **20** bis **24** Zoll und die Scheidemauern von **15** bis **20** Zoll.

An Palläſten und großen Gebäuden, deren Erdgeschoß gewölbt ist, haben die äußern Mauern von **4** bis **9** Fuß Dicke und die Scheidemauern von **2** bis **6** Fuß.

Es muß hier bemerkt werden, daß wir bei der großen Anzahl von Gebäuden, welche wir zu untersuchen Gelegenheit hatten, immer gefunden haben, daß die Dicke der Mauern und Stützpunkte ihrer

Lage, den sie einschließenden Räumen und von ihnen getragenen Belastungen nicht verhältnißmäßig war. An einigen Gebäuden befanden sich bei sehr ausgedehnten Räumen und großen Belastungen sehr schwache Mauern und Stützpunkte, an andern waren sehr kleine Räume von sehr dicken Mauern eingeschlossen, und starke Stützpunkte hatten fast nichts zu tragen. —

Um eine sichere und leichte Regel für die Bestimmung der Mauerdicke an nicht gewölbten Gebäuden zu erhalten, haben wir uns vorgestellt: daß die Spannbalken (Kehlbalken) der Dachstühle, indem sie stets in der Richtung der Tiefe liegen, ebenso die Balken und Durchzüge der Decken, zur Verbindung der einander gegenüberstehenden Mauern dienen; daß sie aber — vermöge der Federkraft und Biegsamkeit der Hölzer — die Mauern in der größten Richtung der von ihnen eingeschlossenen Räume erschüttern. Es ergiebt sich also daraus, daß durch die Breite und Höhe der Hölzer die Dicke der Mauern bestimmt werden müsse.

Erste Regel.

Wenn bei den nur mit einem einfachen Dache versehenen Gebäuden die Mauern auf beiden Seiten in ihrer ganzen Höhe bis unter die Spannbalken der Dachstühle freistehend sind, so ziehe man die Diagonale **BD** (Tafel **CLXXX**) und trage darauf von **B** nach **b** und von **D** nach **d** den **12.** Theil der Höhe **AB.** Hierauf führe man durch die Punkte **b** und **d** Linien parallel mit **AB** und **CD**, so geben diese durch ihre Entfernung von einander die Dicke der Mauern an.

Aus der Höhe **AB** und Tiefe **AD** findet man auch die Dicke **Ac** durch Rechnung, indem man zuvor $BD = \sqrt{AB^2 + AD^2}$ sucht, und dann die Proportion bildet **BD : AD = Bb : Ac**, woraus sich ergiebt

$$Ac = \frac{AD \,.\, Bb}{BD}.$$

Erste Anwendung.[1])

Die Tiefe **AD** sey **24** Fuß und die Höhe **AB** gleich **32** Fuß, so hat man

$$BD = \sqrt{AD^2 + AB^2} = \sqrt{24^2 + 32^2},$$

1) Dieses Werk wurde lange vor der Einführung des neuen französischen Maßes aufgesetzt, weßhalb man den französischen Fuß überall beibehalten hat, wo es nicht nöthig war, die Abmessungen in Meter auszudrücken.

woraus ſich ergiebt

$$CD = \sqrt{576 + 1024} = \sqrt{1600} = 40 \text{ Fuß.}$$

Da Bb der 12. Theil von AB iſt, alſo $= \frac{32}{12} = 2^2/_3$ Fuß, ſo iſt die

Dicke der Mauer $= \frac{AD \cdot Bb}{BD} = \frac{24 \cdot 2^2/_3}{40}$, wodurch man nach ausgeführter Rechnung erhält $1^3/_5$ Fuß oder 1 Fuß 7 Zoll 2 Linien für die geſuchte Dicke. —

Sind die das Dach tragenden Mauern auf eine gewiſſe Höhe von andern Bautheilen oder von niedern Dächern geſtützt, wie bei den Kirchen nach Art der Baſiliken, ſo trage man auf die Diagonale BD (Tafel CLXXX) von B bis e den 12. Theil der Höhe über dem Anlehnepunkt und von e bis f den 24. Theil der Höhe darunter. Man ziehe alsdann durch f eine Parallele mit AB, ſo iſt der Abſtand beider die geſuchte Dicke. Oder auch — was einerlei iſt —, man addire die ganze Höhe AB im Innern zu der EB im Aeußern über dem Anlehnepunkt E, und nehme davon den 24. Theil, welcher gleich Be + ef iſt.

Zweite Anwendung.

Die Mauern des großen Schiffs der St. Paul's-Kirche außerhalb der Mauern, dargeſtellt durch Figur 1 auf Tafel CLXXX, haben im Innern bis zu den Spannbalken der Dachſtühle eine Höhe von 93 Fuß 10 Zoll und im Aeußern über den niedern Seitendächern 26 Fuß 2 Zoll. Dieſe beiden Abmeſſungen addirt, giebt 120 Fuß, und der 24. Theil davon beträgt 5 Fuß. Dieſe trägt man auf die Diagonale, welche ſich aus der Höhe AB und der Tiefe AD (= 73 Fuß 6 Zoll) beſtimmt, von B bis f und zieht durch f eine Vertikale, welche durch ihren Abſtand von der Linie BA die Dicke der Mauer gleich 3 Fuß angiebt.

Durch Rechnung ergiebt ſich

$$BD = \sqrt{(93' 10'')^2 + (73' 6'')^2}$$

$= \sqrt{14207} = 119{,}2$ Zoll. Um nun die Dicke eB zu finden, ſetze man wie im Vorhergehenden

$$BD : AD = Bf : eB;$$

woraus $eB = \frac{AD \cdot Bf}{BD} = \frac{73^1/_2 \cdot 5}{119{,}2} =$ 3 Fuß 1 Zoll, ſtatt 2 Fuß 11 Zoll 9 Linien Dicke, welche dieſe Mauern wirklich haben.

Wenn man auf dieselbe Weise die Mauerdicke des Schiffs der St. Sabinenkirche, Figur 2 auf derselben Tafel, sucht, so findet man, da die Höhe 51 Fuß 2 Zoll, die Tiefe (Breite) im Innern 42 Fuß 2 Zoll und die Erhebung über die angelehnten Seitendächer 16 Fuß beträgt, diese Dicke gleich 21 Zoll 4 Linien; in der Wirklichkeit ist sie ein wenig geringer als 24 Zoll.

Das Schiff der Kirche St. Maria-Maggiore hat 52 Fuß 7 1/2 Zoll Tiefe und 56 Fuß 6 Zoll 4 Linien Höhe bis unter die Balkendecke, welche sich an dem Dache befindet. Die äußere Höhe von dem niedern Seitendach an ist 19 Fuß 8 Zoll. Indem man hierbei die vorhergegangene Regel anwendet, findet man 26 1/4 Zoll für die Dicke der Mauern, statt 28 3/4 Zoll, welche sie wirklich haben.

Wendet man dasselbe Verfahren an bei dem Schiff der St. Laurentius-Kirche zu Florenz, dessen innere Tiefe 37 Fuß 9 Zoll und Höhe 69 Fuß bis unter die Balkendecke ist, und dessen äußere Höhe von dem niedern Seitendach an 18 Fuß beträgt; so findet man für die Mauerdicke 21 Zoll, statt 21 Zoll 6 Linien, wie sie wirklich ist.

Das große Schiff der Heiligen-Geist-Kirche in derselben Stadt, von Bruneleschi gebaut, ist oben mit einer Balkendecke geschlossen, welche von den Spannbalken des Daches getragen wird, wie in den vorhergegangenen Beispielen. Seine Höhe bis unter die Balkendecke beträgt 76 Fuß, die Breite 37 Fuß 4 Zoll und die Höhe äußerlich über den niedern Seitendächern 19 Fuß. Diesen Abmessungen gemäß giebt die erwähnte Regel für die Mauerdicke gleich 21 Zoll 3 Linien, statt 22 1/2 Zoll, welche diese Mauern wirklich haben.

Das Schiff der Kirche St. Philipp von Neri zu Neapel, auch mit einer Balkendecke auf dieselbe Weise versehen, hat 37 Fuß Breite, 53 Fuß 8 Zoll Höhe bis zur Balkendecke und äußerlich über den Seitendächern 20 Fuß 4 Zoll Höhe. Die Anwendung jener Regel giebt 21 Zoll Mauerdicke, statt 22 1/2 Zoll. Den Grundriß dieser Kirche zeigt Figur 4 auf Tafel CLXXXIV. —

Es ist sehr wesentlich zu bemerken, daß bei den Kirchen, welche wir soeben angeführt haben, die äußern Mauern eine viel größere Dicke als die innern haben, obgleich sie massiv sind von unten an und in ihrer ganzen Länge, — und daß diese größere Dicke ihnen gegeben worden ist, damit sie der Wirkung der niedern Seitendächer widerstehen, welche angelehn sind und durch diese Anordnung mit

größerer Kraft gegen die äußeren Mauern drücken. Die äußere Mauer in der Längenrichtung der niedern Seiten hat demnach bei der St. Paul's-Kirche 7 Fuß Dicke und 40 Fuß Höhe; sie bedürfte aber nach der Regel nur 3 Fuß 4 Zoll. Durch jene Dicke von 7 Fuß wird eine $4\frac{1}{2}$ mal größere Widerstandsfähigkeit der Seitenmauern erzeugt, wodurch sie im Stande sind, die andern — auf freistehenden Säulen ruhenden Mauern, welche sich ohne dieses Mittel nicht erhalten würden, zu stützen.

Die äußere Mauer der St. Sabinen-Kirche hat 26 Fuß Höhe und nur 26 Zoll Dicke, welche man auch nach der Regel erhält; aber es ist hier nur eine Reihe niederer Seitengebäude, und die Mauern des mittleren Schiffes haben mehr Dicke im Verhältniß zur Breite und weniger Höhe. Die Mauern des mittlern Schiffs der St. Paul's-Kirche haben nämlich nur den 24. Theil der innern Breite des Schiffs zur Dicke, indessen die Dicke bei der St. Sabina nur der 21. Theil und die Höhe um 42 Fuß 8 Zoll geringer ist.

Bei der St. Laurentius- und Heiligen-Geist-Kirche zu Florenz und der Kirche St. Philipp von Neri zu Neapel vermehren die für die Kapellen angebrachten Vertiefungen die Widerstandsfähigkeit der Mauern bedeutend; aber die niedern Seiten sind gewölbt.

Zweite Regel für Gebäude, welche aus mehreren Stockwerken bestehen, die durch Deckengebälke getrennt sind.

Diese Regel ist, wie die vorhergegangene, aus einer großen Anzahl von Untersuchungen und Beobachtungen hergeleitet, welche bei sehr vielen Gebäuden der erwähnten Art gemacht worden sind. Wir haben dabei die Lehrsätze der Mechanik angewendet, um ein sicheres und leichtes Verfahren — auf Theorie und Erfahrung gegründet — festzustellen.

Will man bei den gewöhnlichen Häusern, wo die Höhe der Decken nicht über 12 bis 15 Fuß beträgt, die Dicke der innern oder Scheidemauern finden, so muß man die Breite des abzutheilenden Raums und die Anzahl der von jenen Mauern zu tragenden Decken berücksichtigen. — Bei der Dicke der Außenmauern, die auf der einen Seite in ihrer ganzen Höhe freistehend sind, muß man auf die Tiefe und Höhe des Gebäudes Rücksicht nehmen. Demnach erfordert ein einfaches Gebäude (**Corps-de-logis**) dickere Mauern als ein doppeltes

von derselben Art und Höhe, weil die Stabilität des Gebäudes im umgekehrten Verhältniß seiner Tiefe steht.

Nehmen wir bei einem einfachen Gebäude, Figur 1, Tafel CLXXXII, die Tiefe oder Breite zu 24 Fuß und die Höhe bis unter das Dach zu 36 Fuß an, so addiren wir zu 24 Fuß die Hälfte der Höhe gleich 18 Fuß, und nehmen von dieser Summe den 24. Theil, welcher gleich 21 Zoll ist. Dies ist die geringste Dicke der Hauptmauern über dem Sockel oberhalb der Erde. Für eine mittlere Widerstandsfähigkeit setze man noch 1 Zoll und für eine große noch 2 Zoll zu.

Wenn das Gebäude ein doppeltes ist, Figur 2, und die Breite desselben beträgt 42 Fuß bei der vorigen Höhe von 36 Fuß, so addire man die Hälfte der Breite und der Höhe, also 21 und 18, und nehme den 24. Theil von dieser Summe, wodurch man 19 $^1/_2$ Zoll für die Dicke der Hauptmauern erhält. —

Zur Bestimmung der Dicke der Scheidemauern addire man zur Länge des Raums, welchen eine Scheidemauer abtheilen soll, die Höhe des Stockwerks und nehme von dieser Summe den 36. Theil. Um demnach die Dicke der Mauer IK (Figur 2) zu finden, addire man — da diese Mauer den Raum LM, der 32 Fuß Länge hat, in zwei Räume theilt — zu dieser Länge die Höhe des Stockwerks, welche man zu 10 Fuß annimmt, und man erhält 42, wovon der 36. Theil 14 Zoll beträgt. Zu dieser Dicke addire man für jeden Stock über dem Erdgeschoß $^1/_2$ Zoll, so daß also bei 3 Stockwerken die Mauerdicke unten 15 $^1/_2$ Zoll seyn muß. Dieses Verhältniß ist bei Bauten aus Backsteinen und Steinen von mittlerer Festigkeit das passende.

Wenn man weiche oder Tuffsteine anwenden muß, wie es in einigen Departements in Frankreich der Fall ist, so addire man 1 Zoll für jeden Stock, statt $^1/_2$ Zoll; demnach muß man zu den 14 Zoll nach dem vorhergegangenen Beispiel 3 Zoll für die 3 Etagen über dem Erdgeschoß addiren, wodurch sich die Dicke auf 17 Zoll vermehrt.

Um die Dicke der Mauer AB (Figur 2) zu finden, addire man, da diese Mauer den Raum zwischen den beiden Hauptmauern scheidet, welche 35 Fuß von einander entfernt sind, zu dieser Entfernung die Etagenhöhe 10 Fuß und nehme den 36. Theil von der Summe 45, wodurch man 15 Zoll Dicke für die Mauer findet, wenn sie nur 1 Stockwerk Höhe hat. Ist sie höher, so addire man — wie im Vorhergehenden angeführt worden ist — so oft $^1/_2$ Zoll, als sich Stockwerke über dem Erdgeschoß befinden. — Verfährt man ebenso für

die Räume **NO**, **PQ** und **RS**, Figur **1** und **2**, so findet man ebenfalls die Dicke ihrer Scheidemauern. —

Wir wollen die Anwendung dieser Regel an einem Gebäude der Enfer-Straße, nahe am Pallast Luxemburg und unter dem Namen Hotel Vendome bekannt, zeigen. Dieses Gebäude ist nach Zeichnungen von Le Blond ausgeführt worden, welche sich in dem Werk über Architektur von Daviller befinden. Jenes Gebäude hat **46** Fuß Tiefe an den zurückgezogenen Theilen und **47** Fuß in der Mitte, und seine Höhe vom Pflaster bis über das Dachgesims beträgt **33** Fuß. Um nun die Dicke der Frontmauern **FF**, Figur **3**, zu finden, suche man die halbe Summe der Tiefe und Höhe, welche gleich $\frac{47 + 33}{2} = 40$ Fuß ist, und nehme hiervon den **24**. Theil, der **20** Zoll beträgt. Da aber dieses ein Bau von großer Dauer ist, so addire man noch **2** Zoll, wodurch sich **22** Zoll ergeben, statt **2** Fuß, die wirklich angewendet worden sind.

Die Dicke der innern Mauer, welche das Gebäude der Länge nach scheidet, müßte seyn — da der Raum zwischen den Frontmauern **42** Fuß Breite hat und die Höhe jedes Stockwerks **14** Fuß beträgt — gleich $\frac{42 + 14}{36}$, also **18** Zoll **8** Linien, statt **18** Zoll, welche ihr der Architekt gegeben hat.

Auf dieselbe Weise findet man die Dicke der Mauer **R**, welche den Salon, der **22** Fuß Breite hat, von dem Speisesaal mit **18** Fuß Breite und **14** Fuß Höhe trennt, gleich **18** Zoll **6** Linien, statt **18** Zoll. Da aber die Frontmauern aus Hausteinen von **2** Fuß Dicke aufgeführt sind und ihre Widerstandsfähigkeit daher größer ist, als sie die Regel erfordert, so sind die innern Mauern dadurch gestützt und haben keine so große Dicke nöthig. Es ist dieses auf Seite **119** erklärt worden, wo man die dünnen Säulen anführte, welche das Gewölbe der Kirche Saint-Toussaint zu Angers, dargestellt auf Tafel **CLXXIX**, tragen. —

Da man — ungeachtet alles dessen, was von uns über die Widerstandsfähigkeit angeführt worden ist — überrascht seyn könnte, daß wir für die Mauern und Widerlager von Hausteinen eine ebenso große Dicke vorschlagen, als für die Bruchstein- oder Backsteinmauern, indem doch die Stärke von diesen nur wenig größer ist als diejenige des sie verbindenden Mörtels oder Gypses; so bemerken wir nochmals, daß, wenn eine Mauer senkrecht auf ihrer Grundfläche durch

benachbarte Theile erhalten werden kann, dadurch ein der Grundfläche verhältnißmäßiges Gewicht getragen wird. Da nun die weichsten Steine, welche weniger Festigkeit als Mörtel oder Gyps haben, noch **500** Pfund auf jeden Quadratzoll tragen können, wodurch man auf **1** Fuß **72000** Pfund erhält, während alle Rechnung, die wir über Gebäude von **5** bis **6** Stockwerken angestellt haben, nur **10000** bis **12000** Pfund auf **1** Fuß giebt; so ist klar, daß die Mauern von weichem Stein, wenn sie zuverlässig vertikal erhalten werden, eine mehr als hinreichende Stärke bei den nach der Regel gefundenen Abmessungen haben. Wird aber die Mauer aus ihrer vertikalen Stellung gebracht, weil ihre Grundfläche für die gehörige Widerstandsfähigkeit nicht Breite genug hat, so zerdrückt jede Kraft, indem sie auf Kanten der Mauer wirkt — wie man es in Figur **A** auf Tafel **CLXXVIII** sieht — diese Kanten, wie groß auch die Festigkeit des Steines seyn mag; denn die Kraft wirkt nun — statt auf eine Fläche von **15** bis **18** Zoll — auf eine Linie oder auf eine sehr wenig breite Fläche. —

Nimmt man statt der Mauer eine Fachwand von Zimmerwerk an, welche in Gyps ausgemauert und auf beiden Seiten beworfen ist, damit sie eine einzige Masse bildet, so reicht für sie die Hälfte der Dicke hin, welche man der von ihr ersetzten Mauer nach der Regel geben müßte.

Für die leichten Scheidewände, welche keine Balkendecke tragen, ist die Dicke der **4.** Theil von derjenigen, welche man durch die Regel erhält.

In Bezug auf die abgesonderten Stützpunkte muß man es immer so einrichten, daß sie durch angrenzende Bautheile in vertikaler Stellung erhalten werden können, und die Breite ihrer Grundfläche kann in diesem Falle der **8.** bis **12.** Theil ihrer Höhe seyn. —

Die von uns gegebene Regel stimmt sehr gut mit allen — von Palladio ausgeführten Gebäuden überein, obgleich sie meistens zum Theil gewölbt sind. Dasjenige, welches wir als Beispiel (Figur **4**) anführen wollen, hat Decken und ist für die Gebrüder Mocenigo zu Venedig an einem Ort, die **frata del Polesine** genannt, gebaut worden. Die Tiefe der Haupträume beträgt **16** Fuß und die Höhe ebenso viel. An sie stoßen andere Räume an, welche nur **8** Fuß Tiefe haben, so daß die Tiefe des durch jede Mauer getheilten Raums **25 1/2** Fuß beträgt, wodurch man die Dicke $\frac{25\,1/2 + 16}{36}$ erhält, welches

nach ausgeführter Rechnung giebt **13** Zoll **10** Linien — statt der wirklich angewendeten **14** Zoll.

Da die Frontmauern **24** Fuß hoch sind und das Gebäude **46** Fuß Tiefe hat, so ist die Dicke jener Mauern nach der vorgetragenen Theorie **17½** Zoll, und man hat **18** Zoll genommen. —

In Bezug auf die gewölbten Gebäude geben wir erst dann die Regel an, wenn wir die Theorie der Gewölbe vorgetragen haben, welche der Gegenstand der **6.** Abtheilung dieses Buches ist.

Dritter Artikel. — Von der Widerstandsfähigkeit (Stabilität) der Widerlager oder Stützpunkte.

Es sey **ABCD**, Figur **32** und **33** auf Tafel **CLXVI**, ein Widerlager mit einem Quadrat zur Grundfläche, und man will den Widerstand kennen lernen, den jenes Widerlager gegen den horizontalen Druck **M**, oder gegen den schiefen **N** leistet, wobei ein Bestreben zur Drehung um die Kante **D** stattfindet. Zur Erleichterung der Vorstellung kann man sich den Körper in eine vertikale Ebene vereinigt denken, welche durch den Schwerpunkt **G** dieses Widerlagers geht und die Drehkante in dem Punkte **D** senkrecht schneidet, um welchen dann die Kraft den Vertikalplan zu drehen strebt. Aus dem Schwerpunkte fälle man eine Vertikallinie, durch welche die Grundlinie in **I** geschnitten wird und denke sich hier den Angriffspunkt der Schwere des Widerlagers. Man sehe jetzt von dem Widerlager ab und betrachte nur den Winkelhebel **BDI** oder **HDI**, dessen Arme durch die Perpendikel bestimmt werden, welche man aus dem Stützpunkt **D** nach der vertikalen Richtung der Schwere und nach der Richtung der gegen das Widerlager wirkenden Kraft zieht. — Die Theorie des Hebels ist im **2.** Kapitel der **1.** Abtheilung dieses Buches erklärt worden.

Es ist hier zu bemerken, daß — da die Richtung der Schwerkraft (Last) **R** stets eine Vertikale durch den Schwerpunkt ist — der Hebelsarm **ID** sich nicht verändert, was auch die Richtung der drückenden Kraft und die Höhe des Angriffspunktes derselben seyn mag. Indessen ändert sich der Hebelsarm der Kraft nach ihrer verschiedenen Lage und Richtung.

Für das Gleichgewicht der Kraftwirkung und der Widerstandsleistung des Widerlagers hat man für den ersten Fall, Figur **32**, wo die Kraftrichtung horizontal ist, $M : R = ID : DB$, woraus sich ergiebt $M . DB = R . ID$ und folglich $M = \frac{R . ID}{DB}$.

Bei schiefer Richtung der Kraft, wie die NA, Figur 33, hat man für das Gleichgewicht $N : R = ID : DH$, woraus man erhält $N \cdot DH = R \cdot ID$ und folglich $N = \frac{R \cdot ID}{DH}$.

Anwendung.

Es sey die Höhe eines Widerlagers gleich 12 Fuß, die Dicke gleich 4 und die Breite (eigentlich Länge) gleich 1 Fuß. Die Schwere R des Widerlagers kann durch den körperlichen Inhalt gleich $12 \cdot 4 \cdot 1 = 48$ ausgedrückt werden. Der durch ID bezeichnete Hebelsarm der Last ist 2 Fuß und der der horizontalen Kraft M gleich 12 Fuß.

Diesen Werthen zufolge hat man $M : 48 = 2 : 12$, woraus man $M \cdot 12 = 48 \cdot 2$ und daraus $M = \frac{48 \cdot 2}{12} = 8$ erhält.

Die Größe der horizontalen Kraft oder des Druckes M muß nämlich 8 Kubikfuß von dem Stein des Widerlagers enthalten, um mit dem Widerstand von diesem im Gleichgewicht zu stehen. Nimmt man an, daß das Widerlager aus gewöhnlich hartem Stein, wovon 1 Kubikfuß im Mittel 160 Pfund wiegt, aufgeführt sey, so ist jener Druck gleich $160 \cdot 8 = 1280$ Pfund. —

In Bezug auf die schiefe — in der Richtung NA wirkende Kraft sey $DH = 7\,1/5$, und man hat $N : 48 = 2 : 7\,1/5$, woraus folgt $N \cdot 7\,1/5 = 2 \cdot 48$ und $N = \frac{48 \cdot 2}{7\,1/5} = 13\,1/3$ Kubikfuß; dagegen betrug die Größe der horizontalen Kraft M gegen das Widerlager nur 8 Kubikfuß. Es ist aber hierbei zu bemerken, daß der Hebelsarm von dieser 12 Fuß war, dagegen von der Kraft N nur $7\,1/3$ Fuß, so daß $13\,1/3 \cdot 7\,1/5 = 8 \cdot 12 = 96$ giebt. Ebenso groß ist auch die Stabilität des Widerlagers, nämlich gleich $12 \cdot 4 \cdot 2 = 96$. —

Es ist wesentlich, zu bemerken, daß — wenn man die Kraft NA als die Resultante zweier Seitenkräfte MA und FA betrachtet — die erste, da sie in horizontaler Richtung von M nach A wirkt, das Widerlager umzuwerfen strebt, dagegen die zweite, welche vertikal von F nach A wirkt, sich einem Theil jener Wirkung, indem sie den Widerstand des Widerlagers vermehrt, entgegengesetzt.

Es bilde die Kraft NA mit der Vertikalen AF einen Winkel von 53 Grad und mit der Horizontalen AM einen von 37 Grad, so hat man $NA : FA : MA = \text{sin. tot.} : \text{sin. } 37^\circ : \text{sin. } 53^\circ$

$= 10 : 6 : 8$. Da man nun $NA = 13^1/_3$ gefunden hat, so ist $10 : 6 : 8 = 13^1/_3 : 8 : 10^2/_3$.

Es ist klar, daß durch diese Zerlegung der Kraft NA die Stabilität des Widerlagers durch die Kraft $FA = 8$ vermehrt wird, und zwar, da diese in dem Punkt A nach der Richtung FA an dem Hebelsarm $CD = 4$ wirkt, um $8 . 4 = 32$.

Die Stabilität des Widerlagers hatte man gleich 96 gefunden, und sie wird nun durch die Kraft $BF = 96 + 32 = 128$.

Da man die horizontale Kraft $M = 10^2/_3$ gefunden hat und ihr Hebelsarm $= 12$ ist, so hat sie ein Bestreben zur Drehung $= 128$, also gleich dem Widerstand des Widerlagers, woraus man ersieht, daß auch bei der Zerlegung die Kraftäußerung dem Widerstande gleich ist, wie vorhin.

Dieser Lehrsatz verdient alle Aufmerksamkeit, weil seine Anwendung sehr nützlich ist bei der genauen Werthbestimmung der Wirkungen von Bautheilen, bei deren Gleichgewichtszustand schief oder seitwärts wirkende Kräfte vorkommen.

Will man erfahren, um wie viel das Widerlager erhöht werden muß, damit es die vertikale Kraft FA ersetzt, so dividire man ihre Größe durch ID, also $8 : 2$, wodurch man 4 für die Erhöhung erhält, und der Widerstand des Widerlagers ist nun $(12 + 4) . 4 . 2 = 128$, wie es seyn mußte. —

Wenn man die Kraftäußerung und die Höhe eines Widerlagers kennt, und man verlangt die Dicke desselben, so daß es mit jener im Gleichgewicht ist, so bezeichne man die in der Aufgabe vorkommenden verschiedenen Größen mit verschiedenen Buchstaben, um das für die Auflösung vorzunehmende Verfahren anzeigen zu können. Es bezeichne demnach p die Kraft, d die Höhe des Widerlagers und x die gesuchte Dicke. Wirkt die Kraft p in horizontaler Richtung in dem höchsten Punkt der Mauer oder des Widerlagers, so ist ihre Kraftäußerung $= pd$.

Die Stabilität des Widerlagers wird ausgedrückt durch seine vertikale Durchschnittsfläche (mit Berücksichtigung von 1 Fuß Längenausdehnung) multiplicirt mit seinem Hebelsarm, also durch $dx . \frac{x}{2}$, und da beim Gleichgewicht der Widerstand dem Druck gleich seyn muß, so hat man $pd = dx . \frac{x}{2}$. Wenn man die beiden Seiten dieser Gleichung mit d dividirt, so bleibt sie noch Gleichung, und es ist p

$= x \cdot \frac{x}{2}$. Ferner bleibt auch die Gleichung fortbestehen, wenn man den Divisor 2 auf der rechten Seite wegläßt und die linke damit multiplicirt, wodurch man erhält $2p = xx$. Also $2p$ ist gleich dem Inhalt eines Quadrats, dessen Seite oder Wurzel gleich x ist. Man drückt dieses aus durch $x = \sqrt{2p}$. — Diese Formel lehrt in allen Fällen die Dicke CD eines Widerlagers kennen, welches einer Kraft M widersteht, die am höchsten Punkt desselben in horizontaler Richtung — wie MA in Figur 32 — thätig ist.

Es ist hier zu bemerken, daß in dieser Formel die Höhe des Widerlagers zur Bestimmung von x nicht nöthig ist, weil diese Höhe dem Widerlager und dem Hebelsarm der Kraft gemeinschaftlich ist, und also durch das Weglassen dieses gemeinschaftlichen Faktors die Gleichung nicht gestört wird. Es läßt sich auch dadurch erklären, daß in diesem Falle der körperliche Inhalt des Widerlagers und der Hebelsarm in demselben Verhältniß vermehrt oder vermindert werden. Es sey demnach die Höhe des Widerlagers 12 oder 15 oder 24 Fuß, so bleibt die Dicke immer dieselbe.

Beispiel.

Wenn die durch p ausgedrückte und in der Formel $x = \sqrt{2p}$ vorkommende horizontale Kraft gleich 8 ist, so hat man $x = \sqrt{16}$, woraus $x = 4$ für die Dicke des Widerlagers folgt. So lange die Kraft, welche an dem höchsten Punkt des Widerlagers wirkt, dieselbe bleibt, ist die Dicke hinreichend, was auch die Höhe seyn mag.

Bei der Höhe 12 Fuß ist die Kraftäußerung $8 \cdot 12 = 96$ und der Widerstand beträgt $12 \cdot 4 \cdot 2 = 96$.

Hat das Widerlager 15 Fuß Höhe, so ist sein Widerstand $= 15 \cdot 4 \cdot 2 = 120$, und die Kraftäußerung beträgt $8 \cdot 15 = 120$.

Ist endlich die Höhe 24 Fuß, so ist der Widerstand $24 \cdot 4 \cdot 2 = 192$, und die Kraftäußerung beträgt $8 \cdot 24$ auch $= 192$.

Wenn der Angriffspunkt der horizontalen Kraft weniger erhöht ist als die Mauer oder das Widerlager, und es sey dieser Unterschied gleich f, so hat man $p \cdot (d - f) = dx \cdot \frac{x}{2}$, woraus folgt

$$2pd - 2pf = dxx, \text{ ferner}$$

$$2p - \frac{2pf}{d} = xx,$$

und endlich

$$x = \sqrt{2p - \frac{2pf}{d}}.$$

Es ſey $p = 9$, $f = 6$, $d = 12$; ſo erhält man aus der Formel $x = \sqrt{18 - \frac{18.6}{12}}$, woraus ſich nach ausgeführter Rechnung ergiebt $x = \sqrt{9} = 3$, welches die verlangte Dicke iſt. —

Iſt die Richtung der Kraft ſchief — wie **NA**, Figur **33** — ſo kann man auf gleiche Weiſe die Dicke finden, indem man den Hebelsarm **DH** einführt, oder indem man jene Kraft in zwei Kräfte zerlegt, wie wir es im Vorhergehenden, Seite **141**, gezeigt haben. Es ſey demnach die ſchiefe Kraft $p = 13\frac{1}{3}$ und ihr Hebelsarm $F = 7\frac{1}{5}$, ſo hat man $pf = \frac{dx^2}{2}$, woraus ſich ergiebt $\frac{2pf}{d} = x^2$ und daraus $x = \sqrt{\frac{2pf}{d}}$. Wenn man hierin die gegebenen Werthe ſetzt, ſo hat man $x = \sqrt{\frac{2 \cdot 13\frac{1}{3} \cdot 7\frac{1}{5}}{12}}$, woraus man nach ausgeführter Rechnung erhält $x = \sqrt{16} = 4$, die geſuchte Dicke des Widerlagers.

Man zerlege die ſchiefe Kraft **NA**, Figur **33**, in zwei Kräfte, wovon die eine **MA** das Widerlager umzuwerfen ſtrebt, indem ſie in horizontaler Richtung wirkt, und die andere **FA** deſſelben feſtzuhalten, dabei in vertikaler Richtung wirkend — wie wir es ſchon Seite **141** angeführt haben. Man bezeichne hierbei die horizontale Kraft **MA** durch **p**, ihren — der Höhe des Widerlagers gleichen Hebelsarm durch **d**, die vertikale Kraft durch **n**, den Hebelsarm von dieſer durch **x**, da derſelbe der geſuchten Dicke des Widerlagers gleich iſt. Hiernach kommt man auf die Gleichung

$$pd = \frac{dxx}{2} + nx, \text{ welche ſich verwandelt in}$$

$$2p = xx + \frac{2nx}{d}.$$

Da die rechte Seite dieſer Gleichung kein vollkommenes Quadrat iſt, ſo muß man dieſelbe dadurch zu einem vollkommenen machen, daß man auf jeder Seite das hieran Fehlende addirt, nämlich $\frac{nn}{dd}$, wel-

ches das Quadrat der Hälfte des Faktors von x ist, also das Quadrat von $\frac{n}{d}$. Man erhält demnach $2p + \frac{nn}{dd} = xx + \frac{2nx}{d} + \frac{nn}{dd}$.

Aus der rechten Seite, welche durch diese Addition ein vollkommenes Quadrat geworden ist, erhält man die Wurzel $= x + \frac{n}{d}$; die Gleichung ist also $x + \frac{n}{d} = \sqrt{2p + \frac{nn}{dd}}$, woraus $x = -\frac{n}{d} + \sqrt{2p + \frac{nn}{dd}}$, welches die allgemeine Formel der gesuchten — mit x bezeichneten Dicke ist.

Anwendung.

Wir wollen diese Formel auf den Fall anwenden, welchen wir schon im Anfang dieses Artikels (Seite **141**) hatten, und zu gegebenen Größen die annehmen, welche aus dem ersten Verfahren erhalten worden sind.

Wir haben zu dem Ende

$$p = 10^2/_3,\ n = 8,\ d = 12.$$

Setzt man diese Werthe in die Formel, so erhält man $x = -\frac{8}{12} + \sqrt{10^2/_3 . 2 + \frac{64}{144}}$, welches sich verwandelt in $x = -\frac{2}{3} + \sqrt{21^1/_3 + \frac{4}{9}} = \sqrt{\frac{196}{9}} - \frac{2}{3} = \frac{14}{3} - \frac{2}{3} = 4$.

Will man jetzt zur Probe den Widerstand berechnen, so setze man in die Gleichung für das Gleichgewicht $2pd = dx\frac{x}{2} + nx$ die obigen Werthe der Größen p, d, n und x, und man erhält $10^2/_3 . 12 = 12 . 4 . 2 + 8 . 4$, welches nach ausgeführter Rechnung giebt $128 = 128$, wie wir es weiter vorn, Seite **142**, in dem Ausdruck $FA = 96 + 32$ gefunden haben.

Zweites Kapitel.

Regeln in Bezug auf das Tragvermögen (Stärke) der Mauern und Stützpunkte.

Aus dem im Vorhergehenden Gesagten erhellet, daß alle Kräfte, welche Gebäude zu zerstören streben, von der Schwere herkommen, und in Richtungen wirken, welche denen der ihnen entgegenstehenden Hindernisse gerade entgegengesetzt sind. Wenn die schweren Körper unmittelbar auf einander gelegt sind, so ist das Resultat ihrer Kraftäußerung eine bloße Pressung, welche Senkung oder Zerdrückung der sie tragenden Theile hervorbringen kann.

Die Fundamente, welche eine größere Grundfläche haben als die von ihnen getragenen Theile, sind eher der Senkung als dem Zerdrücken unterworfen. Aber die auf denselben stehenden abgesonderten Stützpunkte, welche bisweilen sehr große Lasten auf einer kleinen Grundfläche zu tragen haben, sind dem Setzen und Zerdrücken unterworfen, wenn die von ihnen zu tragende Belastung größer ist als die Stärke der Materialien, aus welchen sie bestehen. Dieses macht die Kenntniß der Stärke der Steine für einen Baumeister sehr nothwendig. Indessen erst in unsern Tagen hat man sich durch Erfahrungen darüber zu versichern gesucht, und es bedurfte dazu eines außerordentlichen Umstandes.

Jene Kenntniß wurde vielleicht für unnütz gehalten, da die meisten Bausteine eine mehr als hinreichende Stärke für gewöhnliche Gebäude und selbst für größere Bauwerke haben.

Die beträchtliche Dicke, welche die Alten im Allgemeinen allen Theilen ihrer Bauten gaben, beweist, daß man sich lange Zeit keine Rechenschaft von der Stärke der Steine gab. Je weiter man zu dem Alterthum hinaufsteigt, desto größer findet man jene Dicke.

In der Folge wurden die Baumeister durch Erfahrung belehrt, ihre Werke weniger schwerfällig zu bauen. Die Säulen, welche bei den alten Aegyptiern nur **5** bis **6** Durchmesser zur Höhe hatten, erhielten bei den Griechen in ihren jonischen und korinthischen Ordnungen **9** zur Höhe. Die Römer gaben ihren Säulen noch mehr Höhe und ihren Gebäuden mehr Leichtigkeit. Dieses fand aber statt gegen die Zeit des Verfalls des römischen Reiches unter der Regierung Konstantins, wo Baulustige ohne Geschmack Kühnheit und Leichtigkeit so weit als möglich trieben, indem sie durch freistehende Säulen Mauern von beträchtlicher Höhe tragen ließen, auf welchen wieder Dächer, mit sehr schweren Ziegeln gedeckt, ruhten — wie dies der Fall ist bei der alten St. Peterskirche zu Rom und der St. Paulskirche vor den Mauern, „welche noch besteht.“ [1])

Das ganze Verdienst der erwähnten Baudilettanten beschränkte sich darauf, die Säulen und Marmorblöcke, welche sie von den schönsten Gebäuden der Alten geraubt hatten, zu Bauwerken zuverwenden.

Mehrere Baumeister, durch dieses Beispiel ermuthigt, führten nach demselben Grundriß Gebäude aus, bei welchen die Säulen — außer dem Zimmerwerk und der Dachbedeckung — noch Gewölbe und Deckenstücke tragen, wie bei der Kirche St. Maria-Maggiore, St. Chrysogonus u. s. w.

Die Heilige-Geist- und die St. Laurentius-Kirche zu Florenz, nach Entwürfen von Bruneleschi gebaut, sind noch kühner durch eine Art von Dom, der auf Pfeilern errichtet ist, welche das Kreuz des Schiffes bilden.

Die Dome, deren Einführung diesen ersten Versuchen nahe folgte, veranlaßten eine noch größere Belastung der Pfeiler, von welchen sie getragen wurden.

Die ersten Baumeister, welche Dome bauten, gaben — beunruhigt über die zu unterstützende Last — den Pfeilern eine viel größere Grundfläche, als durch die Last und die Beschaffenheit der dabei verwendeten Steine

---

1) Diese Stelle wurde im Jahr 1805 geschrieben; sie ist ohne Aenderung in den nachfolgenden Ausgaben bis zu 1822 fortgeführt worden. Wir glaubten sie, obgleich diese Kirche im Jahr 1823 ein Raub der Flammen geworden ist, auch in dieser Ausgabe stehen lassen zu müssen, um die Bemerkungen des Verfassers, welche sich auf das Bestehen der St. Paulskirche gründen, nicht fehlerhaft zu machen.

erforderlich war. Diejenigen, welche dergleichen seither gebaut haben, ließen die Frage in dem Zustand, wie sie dieselbe gefunden hatten, und begnügten sich, ihre Vorgänger nachzuahmen. Die Einen, wie die Andern bestimmten die Form und die Abmessungen dieser Pfeiler mehr nach der sich gebildeten Vorstellung von der Anordnung und Verzierung, als nach der Kenntniß der Belastung, welche zu unterstützen war. Man findet deßhalb eine ziemlich große Verschiedenheit in dem Verhältniß zwischen den Grundflächen dieser Pfeiler und den von ihnen zu tragenden Gewichten.

Die Belastung der Pfeiler, welche den Dom der St. Peters-Kirche zu Rom tragen, beträgt

	(1 Mtr. Grndfl.)	(1 F. Grndfl.)
auf 1 Meter Grundfläche . . .	**163539** Kilogr.	
und auf 1 Fuß Grundfläche . .		**35254** Pfd.
Die Belastung der Dompfeiler der St. Paulskirche zu London beträgt	**193498** „	od. **41713** „
Die der Dompfeiler der Invaliden .	**147816** „	od. **31862** „
Die der Dompfeiler der St. Genoveven-Kirche	**294290** „	od. **63440** „
Die der Säulen der St. Paulskirche vor den Mauern	**197609** „	od **42950** „
Einer der Pfeiler, welche den Thurm der Kirche von St. Mery tragen, hat die Belastung	**294234** „	od. **63325** „ [1])

Aber welches ist das richtige Verhältniß, welches in Bezug auf Dauerhaftigkeit zwischen der Belastung und der Grundfläche der Widerlager stattfinden muß? — Diese Frage kann nur entschieden werden durch Erfahrungen über die Stärke der Steine. — Es ist dies auch eins der Mittel, deren man sich bei einem Meinungsstreit bedient hat, welcher sich bei Gelegenheit der Unfälle entspann, welche bei den Pfeilern des Doms der neuen Genovevenkirche stattfanden. —

---

1) Bei dieser Werthbestimmung sind wir bis auf Tausendtel gegangen, und haben die letzte Ziffer um 1 Einheit vermehrt, wenn die nachfolgende Ziffer 5 oder über 5 war.

Außerdem haben wir bei dieser Vergleichung angenommen: 1 Kilogr. = 2 Pfd. 0 Unzen 5 Gros und 35,15 Grains = 2,0429 Pfund; 1 Quadratmeter = 9,474 Quadratfuß.

Der Anfang dieser Erörterung fällt in das Jahr **1770**, wo Herr Patte, Architekt, eine Schrift bekannt machte, in welcher er zu beweisen behauptete, daß die — zum Tragen der damals projektirten Kuppel der neuen Genoveven-Kirche bestimmten Pfeiler nicht hinreichende Abmessungen hätten, um den Thurm-Mauern, welche darauf errichtet werden mußten, die Dicke geben zu können, wodurch dieselben dem Druck der auf dem Thurm aufzuführenden Kuppel zu widerstehen vermöchten.

Herr Gauthey, General-Inspekteur des Brücken- und Chausseebaus, antwortete auf diese Schrift durch eine andere, worin er die Anwendung der Lehrsätze der Mechanik auf die Construction der Gewölbe und Dome zeigte; diese Schrift wurde **1774** gedruckt.

Nachdem Herr Gauthey in dieser Schrift die des Herrn Patte widerlegt hatte, sagte er schließlich, daß die Pfeiler zum Tragen der entworfenen Kuppel nicht allein stark genug wären, sondern daß man sie entbehren und bloß die zwölf damit verbundenen Säulen beibehalten könnte. — Dieses Gegenstandes wegen erfand Herr Gauthey eine Maschine zum Prüfen der Stärke der Steine. [1])

Diese Maschine bestand aus einem eisernen Hebel, welcher sich in einem starken Pfosten um einen Bolzen bewegte. An der untern Seite des Hebels, ungefähr **1** Decimeter vom Bolzen entfernt, war ein Einschnitt (man sehe die sehr ähnliche Maschine des Herrn Soufflot auf Tafel **VII**, Figur **1**), in welchen man ein Stück, theils aus Eisen und theils aus Holz bestehend, mittelst einer vorstehenden Kante einlegte. Unter dieses Stück brachte man den zu zerdrückenden Stein. An dem andern Ende des Hebels befand sich oben ein anderer Einschnitt, in welchen ein Ring gehängt war, der eine Wagschale trug. Dieser zweite Einschnitt hatte von dem ersten eine **24** mal größere Entfernung als der erste von der Mitte des Bolzens, woraus sich ergab, daß auf den Stein ein **24** mal größerer Druck ausgeübt wurde, als das Gewicht auf der Wagschale betrug. — Herr Gauthey hat mittelst dieser Maschine fünfzig Versuche mit harten und weichen Steinen von Givry bei Chalons-sur-Saone angestellt und davon

---

1) Diese Maschine des Herrn Gauthey ist in einer Zeichnung herausgekommen und befindet sich auf der XII. Tafel des 1. Bandes seiner Werke, welche 1809 von Herrn Navier herausgegeben worden sind.

Rechenschaft gegeben in einem Aufsatz, welcher in dem physikalischen Journal des Abbe Rosiers, im Novemberheft **1774**, abgedruckt ist.

Es ergiebt sich aus diesen Versuchen, daß das geringste Gewicht, bei welchem der weiße Stein von Givry zerdrückt wurde, **7**$^{1}/_{2}$ Pfund auf **1** Quadratlinie der zur Prüfung genommenen Steine beträgt, — und das größte **18**$^{5}/_{18}$ Pfund. Herr Gauthey verwandelte diese beiden Grenzen — wegen einiger Unregelmäßigkeiten — in **9** Pfund für das geringste Gewicht und in **15** für das größte. Hierdurch erhält man im Mittel **12** Pfund, welches ziemlich gut mit dem von **11**$^{4}/_{5}$ Pfund übereinstimmt, welches sich ergiebt, wenn man die Summe der Gewichte für alle geprüften Steine durch die Anzahl derselben dividirt.

Nimmt man im Mittel **12** Pfund auf **1** Quadratlinie an, so folgt, daß das Gewicht zum Zerdrücken einer Fläche von **1** Quadratzoll gleich **1728** Pfund oder **846** Kilogramme seyn müßte, — und bei **1** Quadratfuß gleich **248832** Pfund oder **121803** Kilogramme. Hiernach wäre es möglich, mit diesem Stein eine Säule von **286** Toisen oder **557** Meter Höhe auszuführen.

In Bezug auf den harten Stein von Givry geben die Versuche des Herrn Gauthey das geringste Gewicht auf **1** Quadratlinie gleich **18**$^{1}/_{2}$ Pfund, und das größte gleich **57** Pfund, welche er — wegen der Unregelmäßigkeiten — in **22** Pfund für das geringste und in **42** Pfund für das größte Gewicht verwandelte, woraus sich eine mittlere Kraft von **32** Pfund ergiebt. Wenn man die Summe der auf die geprüften Steine verwendeten Gewichte durch ihre Anzahl dividirt, so erhält man **32**$^{11}/_{14}$ Pfund. Nimmt man aber das Gewicht von **32** Pfund für die **1** Quadratlinie entsprechende Kraft an, so ist die **1** Quadratzoll entsprechende gleich **4608** Pfund oder **2256** Kilogramme, und die **1** Quadratfuß entsprechende gleich **663552** Pfund oder **324807** Kilogr., welches eine Höhe von **670** Toisen oder **1306** Meter zuläßt. —

Herr Soufflot, welchem diese Versuche bekannt waren, ließ eine Maschine ganz von Eisen — der des Herrn Gauthey beinahe ähnlich — ausführen. Mit Hülfe dieser Maschine, welche durch Figur **1** auf Tafel **VII** dargestellt ist, unternahm er mit Herrn Perronet, erstem Brücken- und Straßenbaumeister, eine sehr große Anzahl von Versuchen, denen ich beiwohnte und mit deren Aufnahme ich beauftragt war.

Bei der Ausführung dieser Versuche bemerkte ich, daß — wenn die Wagschale mit mehr als **200** Pfund belastet war — der Hebel an dem Bolzen, um welchen er sich drehte, einen so bedeutenden Widerstand erlitt, daß man eine größere Kraft zum Zerdrücken der Steine nöthig hatte.

Eine ähnliche Maschine, welche Herr Perronet für die Schule des Brücken- und Straßenbaus ausführen ließ, hat den nämlichen Fehler, obgleich dieselbe vervollkommnet worden ist. Sie ist durch die Figuren **1** und **2** auf Tafel **CLXXXIII** dargestellt. —

Zur Vermeidung dieser Reibung, durch welche man an richtigen Resultaten verhindert wird, ließ ich die — durch Figur **2** auf Tafel **VII** und durch die Figuren **3** und **4** auf Tafel **CLXXXIII** dargestellte Maschine fertigen, bei welcher der Hebel nicht durch einen Bolzen festgehalten wird, sondern derselbe auf der Kante einer dreikantigen Unterlage ruht, welche man in **m**, Figur **3**, sieht. Ueber dem Hebel befindet sich ein Stück Eisen **E**, welches unten mit einem dreikantigen Vorstand **n** versehen ist, dessen eine Kante auf den Hebel auf **4** Centimeter Abstand von der dreikantigen Unterlage **m** trifft. Auf die obere Fläche dieses Eisenstücks **E** legt man den zu zerdrückenden Stein. — Es folgt aus dieser Anordnung, daß der Stein von unten nach oben gedrückt wird, wenn der Hebelsarm **A** wirksam ist.

Der Hebelsarm ist von dem Stützpunkt **m** an mit **52** Theilen — gleich dem Theil **mn** — bezeichnet, wie man es in der Figur sehen kann, wo diese Einrichtung besonders herausgezeichnet ist. Diese Eintheilung bezieht sich auf die Schraube, durch deren Wirksamkeit ebenfalls ein Druck verursacht wird, was sogleich erklärt werden soll.

Die Eisenstücke **E** und **D** (in Figur **3**), zwischen welchen der zu zerdrückende Stein liegt, sind mit Nuthen versehen, damit sie in ihrer gehörigen Lage während der Thätigkeit des Hebels bleiben und einen gleichförmigen Druck verursachen.

Diese so eingerichtete Maschine zerdrückt die Steine gleichförmiger und bei einem geringern Gewicht als die beiden vorhergegangenen.

Da sich indessen der Hebel um seinen Stützpunkt dreht, so verursacht dieses, wenn das Zerdrücken des Steines eine große Kraft erfordert, einen schiefen Druck gegen das Eisen **E**, und dadurch Reibung und einen größern Druck nach vorn, wodurch man ebenfalls verhindert wird, richtige Resultate zu erhalten.

Zur Vermeidung dieses Uebelstandes habe ich — statt des Hebels — eine Schraube von **2** Zoll Durchmesser angewendet; sie ist in den Figuren **3** und **4** mit **k** bezeichnet. An dem Kopf dieser Schraube befindet sich ein Viertelkreis **M.** [1]) Dieser — sowie die Schraube — werden vermittelst eines Seiles **R** bewegt, welches mit dem Ende an das Ende **f** des Viertelkreises befestigt ist, über eine Rolle **N** geht und an dem andern Ende eine Platte **P** trägt, worauf ein Gewicht liegt. Die Wirkung dieses auf die Platte gelegten Gewichtes strebt die Schraube zu drehen und verursacht dadurch einen beträchtlichen Druck auf das Stück **D**, wodurch der darunter gelegte Stein zerdrückt wird.

Um das Verhältniß der Schraubenwirkung zu dem diese Wirkung erzeugenden Gewicht — abgesehen von der Reibung — finden zu können, wird der Hebel mit der Schraube verbunden, indem man denselben auf seinen Stützpunkt **m** und unter das Stück **E**, Figur **3**, legt Nachdem hierauf die Platte **X** am Hebel **A** mit einem Gewicht belastet ist, wodurch man die Kraftäußerung am Punkte **Q** kennt — z. B. **100** Kilogramme —, legt man auf die andere Platte ein solches Gewicht, daß die Wirkung desselben am Punkte **f** mit der an **Q** im Gleichgewicht ist. Um den Augenblick zu erkennen, wo die Kraft an **f** die Kraft am Punkte **Q** zu überwinden anfängt, stellt man unter den Hebel **A** eine etwas geneigte Stange **g**, so daß sie unter jenem steht, ohne etwas von seiner Belastung zu tragen. Aus dieser Anordnung ergiebt sich, daß — sobald durch die Kraft am Punkte **f** diejenige bei **Q** überwunden wird — sich der Hebelsarm erhebt und die Stange fällt. Es ist nun klar, daß man — zur Bestimmung der Größe der Kraftäußerung bei **n** oder der Kraftäußerung **C** der Schraube — die Kraft **Q** multipliciren muß mit der Zahl, welche angiebt, wie oft der Hebelsarm **mB** in **mQ** enthalten ist. Man kennt dann aus

---

1) Der Halbmesser des Viertelkreises ist $30^1/_4$ Zoll bis zur Mittellinie des Seils, oder 363 Linien, also der Durchmesser 726 Linien und der Umfang $726 . 3^1/_7 = 2281^5/_7$ Linien. Wenn dieser Weg von der Platte P zurückgelegt wird, so senkt sich die Schraube um 5,4 Linien. Hierdurch erhält man das Verhältniß der Kraft der Schraube zum Gewicht = 422 : 1; dasjenige beim Hebel ist nur wie 52 : 1. Es verhält sich demnach die Kraft beim Hebel zu der Kraft bei der Schraube nahe wie 1 : 8; aber wegen der Reibung verwandelt sich dieses Verhältniß in 1 : 140, wie ich es sogleich im Folgenden darthun werde.

den Werthen von C, f und Q das Verhältniß der Wirkung C der Schraube und der Wirkung bei f, welche jener das Gleichgewicht hält.

Nachdem ich gefunden hatte, daß das Gewicht des Hebels an dem Punkte Q mit der Wagschale **20,313** Kilogramme betrug, fügte ich noch **79,687** Kilogramme hinzu, um bei Q eine Kraftäußerung genau von **100** Kilogramme zu haben. Multiplicirt man dieses Gewicht mit **52**, welches anzeigt, wie oft der Hebelsarm mn in dem mQ enthalten ist, so ergiebt sich die Wirkung C der Schraube = **5200** Kilogramme.

Um dieser Wirkung das Gleichgewicht zu halten, mußte man auf die kleine Wagschale P ein Gewicht von **28,7** Kilogramme legen, wozu noch **8,443** Kilogramme für das Gewicht der Wagschale und des weiter Dazugehörigen zu addiren sind. Ich erkannte daraus, daß die Kraftäußerung in f, welche man als die Ursache des Drucks der Schraube in C ansehen kann, **37,143** Kilogramme betrug. Da in diesem Falle der Druck in C = **5200** Kilogramme ist, so ergiebt sich daraus das Verhältniß dieser beiden Wirkungen = $\frac{37,143}{5200}$, welches sich verwandelt in $^{1000}/_{13969}$ oder sehr nahe in $^{1}/_{140}$. Bei Wiederholung dieses Versuches, indem ich die Kraftäußerung bei Q auf **60**, **80**, **120**, **130** und **150** Kilogramme brachte, habe ich sehr nahe dasselbe Resultat erhalten.

Die zwei letzten Spalten der Tabellen in der **2.** Abtheilung des **1.** Buchs enthalten Gewichte, bei welchen Steine zerdrückt worden sind, und diese Gewichte hat man nach dem soeben angegebenen Verhältniß berechnet. Alle Versuche, welche man mittelst der dritten Maschine mit dem langen Hebelsarm angestellt hat, sind mit der Schraube und dem Viertelkreis wiederholt worden. Bei der größten Anzahl erhielt man sehr nahe dieselben Resultate — besonders bei den weichen oder mittelharten Steinen.

Die Versuche mittelst der Schraube bieten nicht die Uebelstände der Maschinen mittelst des Hebels dar, und der Druck ist gleichförmig auf der ganzen Fläche der geprüften Steine. Das Zerdrücken hier ist ein mehr regelmäßiges und mehr symmetrisches Zerlegen — entweder in Pyramiden a, oder in Plättchen, oder in Nadeln b.

Mehr als **800** Versuche, welche an **145** verschiedenen Steinarten ausgeführt worden sind, haben mich allgemeine Kennzeichen über die

wesentlichsten Eigenschaften der Steine in Bezug ihrer Verwendung zum Bauen erkennen lassen.

Aus diesen Wahrnehmungen ergiebt sich nämlich:

1) Gewicht, Stärke, Dauer, Beschaffenheit des Korns und mehr oder minder dichtes Gefüge bei allen Steinarten sind Eigenschaften, welche von einander abhängig zu seyn scheinen. Es sind nämlich die schwersten unter Steinen gleicher Art auch die stärksten und härtesten, und haben auch das feinste Korn und das dichteste Gefüge;

2) die Steine von schwärzlicher oder bläulicher Farbe sind dauerhafter als die von grauer, weißer oder röthlicher; und im Allgemeinen sind die von mehr heller Farbe weniger stark und weniger schwer;

3) die Steine, deren Korn gleichartig und deren Gefüge gleichförmig ist, sind stärker als diejenigen von vermischtem Korn, obgleich diese letztern bisweilen härter und schwerer sind;

4) die Eigenschaften der Steine zeigen sich auch in der Art, wie sich diese zerdrücken. Die von feinem Korn, gleichartigem und dichtem Gefüge und diejenigen, welche beim Anschlagen einen hellen Ton geben, zerlegen sich in Plättchen oder Nadeln, Figur b, Tafel CLXXXIII; die sehr spröden Steine zertheilen sich mit einem Geräusch und verwandeln sich in Staub;

5) die Steine von weniger feinem Korn, mit einem weniger dichten Gefüge und mit geringem oder keinem Ton beim Anschlagen — zerlegen sich in Pyramiden, welche die Flächen des Körpers zu Grundflächen haben. Die Spitzen dieser Pyramiden treffen in der Mitte zusammen (Figur a auf derselben Tafel), und der übrige Theil des Steins verwandelt sich daselbst in Staub. Die beiden einander gegenüberstehenden Pyramiden haben die untere und obere Fläche des Steins zu Grundflächen und treiben die sie umgebenden Flächen aus einander, welche sich durch vertikale Spalten zerlegen;

6) alle Steinarten erfahren vor dem Zerdrücken und selbst vor dem Spalten eine bemerkbare Verminderung ihrer Höhe. Diese Verminderung war bei Steinen, welche sich in Pyramiden zerlegten, beträchtlicher;

7) wenn die Steine eine Höhe haben, welche größer als das Doppelte der Breite der Grundfläche ist, so spalten sich die Theile zwischen den Pyramiden vertikal und zerlegen sich in Plättchen oder Nadeln, Figur c;

8) die spröden Steine erfordern zum Spalten weniger Kraft als zum Zerdrücken, dagegen die weichen Steine lassen sich eher zerdrücken als spalten;

9) die Stärken der Steine von gleicher Art verhalten sich beinahe wie die Kubikzahlen ihrer specifischen Gewichte. [1]) Diese sehr wichtige Beobachtung wird durch neue Versuche bestätigt, welche ich zu meiner Versicherung hierüber angestellt habe. Im Nachfolgenden ist das Nähere derselben angegeben.

Ich ließ einen Baustein (Liaisstein) von **27** Centimeter Dicke in der Richtung dieser Dicke durchsägen und dann senkrecht auf diesen Schnitt andere Sägeschnitte ausführen, welche fünf Reihen von Würfeln, jeden von **5** Centimeter Seite, gaben. Diese fünf über einander gelegten Würfelreihen machten die Höhe des Steins zwischen seinen beiden Lagerflächen aus. Nachdem ich sie, um ihr specifisches Gewicht zu erhalten, in der Luft und im Wasser genau gewogen hatte, schritt ich zur Ausführung der Versuche.

Die folgende Tabelle giebt die mittleren Resultate von den Versuchen an drei Würfeln in jeder Reihe an.

I.

Liaisstein. Mittlere Resultate aus Versuchen, ausgeführt an 3 Würfeln in jeder Reihe	Specifisches Gewicht	Gewicht in Kilogr. zum Zerdrücken eines Würfels von 25 Centim. Grundfläche.	
		Versuche	Rechnung
1. Reihe, von dem obern Lager an . .	**2340**	**8328**	**8328**
2. „ „ „ „ „ „ . .	**2353**	**8408**	**8468**
3. „ „ „ „ „ „ . .	**2403**	**9136**	**9019**
4. „ „ „ „ „ „ . .	**2386**	**8882**	**8829**
5. „ „ „ „ „ „ . .	**2364**	**8452**	**8587**

Das mittlere Resultat des specifischen Gewichts der bei diesen Versuchen angewendeten Würfel ist **2369**, die mittlere Stärke derselben nach der Erfahrung ist **8641** Kilogramme, und nach der Rechnung ist die Stärke gleich **8646** Kilogramme. —

---

1) Das Nähere über Bestimmung des specifischen Gewichtes befindet sich im 1. Band S. 345 u. d. f., und wir haben daher nicht nöthig, uns auf eine weitere Erklärung einzulassen.

Ich habe eben solche Versuche mit achtzehn andern Würfeln von **25** Centimeter Grundfläche, also von **5** Centimeter Höhe, angestellt. Diese Würfel waren aus einem harten – die freie Bank genannten Stein aus dem Grunde von Bagneux geschnitten, wie die vorhergegangenen.

Es ist dies derselbe Stein, welchen man für die inneren Theile der neuen Genoveven-Kirche gebrauchte. Jene Würfel wurden durch Schnitte in sechs Reihen erhalten, welche die Höhe zwischen den beiden bis auf den Kern behauenen Lagerflächen bildeten.

Die folgende Tabelle enthält die mittlern Resultate der Versuche an drei Würfeln in jeder Reihe.

II.

Die freie Bank aus dem Grund Bagneux. Man sehe N. 36 der Beschreibung im 1. Bd. S. 102	Specifisches Gewicht	Gewicht in Kilogr. zum Zerdrücken eines Würfels von 25 Centim. Grundfläche	
		Versuche	Rechnung
1. Reihe, von dem obern Lager an . .	**2203**	**6200**	**6200**
2. „ „ „ „ „ „ . .	**2229**	**6417**	**6423**
3. „ „ „ „ „ „ . .	**2255**	**6732**	**6650**
4. „ „ „ „ „ „ . .	**2207**	**6269**	**6235**
5. „ „ „ „ „ „ . .	**2165**	**5874**	**5886**
6. „ „ „ „ „ „ . .	**2116**	**5363**	**5495**

Man sieht, daß die in dieser Tabelle angegebenen Resultate und die beim Liaisstein gefundenen in der vorigen Tabelle dahingehen, das gleiche Verhältniß zwischen der Stärke der Steine von einerlei Art und zwischen den Kubikzahlen ihrer specifischen Gewichte zu bestätigen. Man muß übrigens bemerken, daß durch dieses Verhältniß für die mittlern Reihen etwas zu kleine Resultate und für die obern und untern Reihen etwas zu große erhalten werden. Aber die mittlern Resultate entsprechen bei dem Liaisstein genau diesem Verhältniß und weichen fast nicht bei den Steinen aus dem Grund von Bagneux ab. Das mittlere specifische Gewicht bei diesen findet man nämlich **2194**, die mittlere Stärke nach den Versuchen gleich **6142** und nach der Rechnung gleich **6125**.

III.

Harter Felsstein
von Chatillon, beste Sorte aus dem Steinbruch von Chavastel.

Mittlere Resultate aus Versuchen bei 3 Würfeln in jeder Reihe	Specifisches Gewicht	Gewicht in Kilogr. zum Zerdrücken eines Würfels von 25 Centim. Grundfläche	
		Versuche	Rechnung
1. Reihe, von dem obern Lager an . .	1977	3090	3090
2. „ „ „ „ „ „ . .	2239	4502	4489
3. „ „ „ „ „ „ . .	2298	4797	4854
4. „ „ „ „ „ „ . .	2307	4992	4911
5. „ „ „ „ „ „ . .	2396	5542	5502
6. „ „ „ „ „ „ . .	2350	5412	5191
7. „ „ „ „ „ „ . .	2342	5320	5138
8. „ „ „ „ „ „ . .	2312	5127	4943
9. „ „ „ „ „ „ . .	2213	4462	4335
10. „ „ „ „ „ „ . .	2005	3250	3224
11. „ „ „ „ „ „ . .	1945	2854	2943
12. „ „ „ „ „ „ . .	1882	2492	2666

Diese dritte Tabelle giebt die Resultate der Versuche mit dem harten Felsstein von Chatillon an. Sie wurden — wie die vorhergegangenen — mit Würfeln von **25** Centimeter Grundfläche angestellt, und diese Würfel nahmen ebenfalls, in zwölf Reihen über einander, die Höhe zwischen den beiden Lagern ein. Die in dieser Tabelle befindlichen Größen sind die mittlern Resultate aus Versuchen, welche man bei drei Würfeln in jeder Reihe machte. — Diese Resultate lassen erkennen:

1) daß die Stärke und das specifische Gewicht dieser Steinart größer werden — von den beiden Lagerflächen ausgehend;

2) daß die größte Stärke und das größte specifische Gewicht sich der obern Lagerfläche näher als der untern befindet;

3) daß sich die Stärken sehr nahe wie die Kubikzahlen der specifischen Gewichte verhalten — wie bei den vorhergegangenen Beispielen;

4) daß die mittlere — von den Würfeln bis zum Zerdrücken ausgehaltene Last **4320** Kilogramme betrug;

5) daß das mittlere specifische Gewicht **2189** ist, woraus sich für das Gewicht von **1** Kubikmeter = **2189** Kilogrammme und für das von **1** Kubikfuß = **153** Pfund **3** Unzen und **5** Gros ergeben.

Es ist merkwürdig, daß die Gewichte, bei welchen das Spalten dieser Steine begann, fast immer $^2/_3$ von denen waren, bei welchen sie plötzlich zerdrückt wurden. Die Liaissteine und die Steine aus dem Grund von Bagneux dagegen fingen zu reißen und sich zu spalten an bei der Hälfte des Gewichtes, das zum Zerdrücken nöthig war. Die größte Last, welche man demnach diesen beiden letztern Steinarten anvertrauen kann, darf nicht größer als $^1/_3$ der Last seyn, bei welcher sie zerdrückt werden; aber man kann die Last bei den Felssteinen, welche weniger spröde sind, auf mehr als die Hälfte bringen.

IV.

Felsstein von Chatillon, zweite Sorte, weniger hart als die erste.

Mittlere Resultate aus Versuchen bei 3 Würfeln in jeder Reihe	Specifisches Gewicht	Gewicht in Kilogr. zum Zerdrücken eines Würfels von 25 Centim. Grundfläche	
		Versuche	Rechnung
1. Reihe, von dem obern Lager an . .	1875	2307	2307
2. „ „ „ „ „ „ . .	2016	2886	2868
3. „ „ „ „ „ „ . .	2099	3224	3236
4. „ „ „ „ „ „ . .	2162	3508	3537
5. „ „ „ „ „ „ . .	2215	3784	3803
6. „ „ „ „ „ „ . .	2205	3874	3752
7. „ „ „ „ „ „ . .	2141	3405	3434
8. „ „ „ „ „ „ . .	2088	3617	3641
9. „ „ „ „ „ „ . .	2017	2858	3872
10. „ „ „ „ „ „ . .	1955	2598	2615
11. „ „ „ „ „ „ . .	1880	2316	2325
12. „ „ „ „ „ „ . .	1793	1970	2017

Diese Tabelle zeigt — wie die vorhergegangenen:

1) daß das Gewicht und die Stärke dieser Steinart sich von den beiden Lagerflächen gegen die Mitte der Dicke vermehren;

2) daß das Verhältniß der Stärken wenig von dem der Kubikzahlen der specifischen Gewichte abweicht;

3) daß das mittlere Gewicht, bei welchem diese Würfel zerdrückt worden sind, **3029** Kilogramme beträgt;

4) daß das Gewicht von **1** Kubikmeter = **2037,333** Kilogramme und von **1** Kubikfuß = **142** Pfund **9** Unzen **2** Gros ist.

Es ergiebt sich noch, daß bei gleicher Grundfläche und bei gleichem specifischem Gewicht dieser Felsstein weniger Stärke hat, als der vorhergegangene — etwa den **18.** Theil — wahrscheinlich wegen des weniger dichten Gefüges.

V.

Felsstein von Chatillon,
dritte Sorte, aus dem Steinbruch von Espinasse.

Mittlere Resultate aus Versuchen bei 3 Würfeln in jeder Reihe	Specifisches Gewicht	Gewicht in Kilogr. zum Zerdrücken eines Würfels von 25 Centim. Grundfläche	
		Versuche	Rechnung
1. Reihe, von dem obern Lager an .	2019	2909	2909
2. " " " " " " . .	2044	2942	2989
3. " " " " " " . .	2127	3184	3320
4. " " " " " " . .	2199	3796	3721
5. " " " " " " . .	2223	3902	3844
6. " " " " " " . .	2179	3737	3621
7. " " " " " " . .	2139	3453	3425
8. " " " " " " . .	2097	3168	3227
9. " " " " " " . .	2029	2961	2923
10. " " " " " " . .	1992	2714	2667
11. " " " " " " . .	1974	2610	2692
12. " " " " " " . .	1857	2179	2241

Die Resultate dieser Tabelle zeigen ein wenig mehr Verschiedenheit zwischen der Stärke und dem Gewicht, und diese Verschiedenheit ist zu Gunsten der Würfel der **4.**, **5.** und **6.** Reihe. Das mittlere — zum Zerdrücken dieser Würfel erforderliche Gewicht beträgt **3129** Kilogramme.

Das mittlere specifische Gewicht oder das Gewicht von **1** Kubikmeter ist **2073** Kilogramme und das von **1** Kubikfuß gleich **145** Pfund **1** Unze und **6** Gros.

Es ist hier zu bemerken, daß diese Art von Felsstein — Grundfläche, Höhe und specifisches Gewicht wie beim vorigen angenommen — ungefähr um $^1/_{30}$ der Stärke jener zweiten Sorte stärker ist als diese. —

Die folgende Tabelle enthält die Resultate von Versuchen, die mit Würfeln aus den Steinen vom Mont-Souris, welche man zu den

Pfeilern des Doms der neuen Genoveven-Kirche — von der Höhe **6,40** Meter über der Grundfläche an — verwendet hat, angestellt worden sind. Diese Würfel wurden — wie die vorigen — in einem Schnitt in der Richtung der Höhe zwischen den beiden Lagerflächen des Steins genommen. Diese Höhe gab zehen Reihen von Würfeln jeden von **5** Centimeter Seite.

Die Tabelle giebt die mittlern Resultate aus Versuchen an, welche bei drei Würfeln in jeder Reihe angestellt worden sind.

VI.

Stein vom Mont-Souris,
verwendet zu den obern Theilen der Pfeiler des Doms der Genoveven-Kirche.

Mittlere Resultate aus Versuchen bei 3 Würfeln in jeder Reihe	Specifisches Gewicht	Gewicht in Kilogr. zum Zerdrücken eines Würfels von 25 Centim. Grundfläche	
		Versuche	Rechnung
1. Reihe, von dem obern Lager an . .	2045	2731	2779
2. " " " " . .	2183	3328	3381
3. " " " " . .	2221	3591	3560
4. " " " " . .	2236	3611	3633
5. " " " " . .	2224	3566	3575
6. " " " " . .	2169	3350	3316
7. " " " " . .	2041	2755	2765
8. " " " " . .	2036	2732	2743
9. " " " " . .	2008	2607	2631
10. " " " " . .	1976	2491	2507

Aus diesen Versuchen ergiebt sich:

1) das mittlere Gewicht von **1** Kubikmeter beträgt **2114** Kilogramme oder von **1** Kubikfuß gleich **148** Pfund;

2) die mittlere Stärke nach den Versuchen ist bei einer Grundfläche von **25** Centimeter gleich **3077** Kilogramme, — die mittelst der Rechnung nach dem Verhältniß der Kubikzahlen der specifischen Gewichte gefunden ist gleich **3089** Kilogramme.

3) die Stärke dieser Steinart ist bei gleichem specifischem Gewicht und bei gleicher Grundfläche ungefähr um $^1/_{60}$ derselben geringer als

die der dritten Sorte des Felssteins von Chatillon, und ungefähr der Stärke der zweiten Sorte gleich.

Nachdem ich jeden der Würfel von jeder der sechs verschiedenen Steinarten für sich geprüft hatte, wollte ich erfahren, ob mehrere auf einander gelegte Würfel mehr oder weniger Widerstand leisten würden als ein einzelner. Diese Versuche gaben die in der nachstehenden Tabelle eingezeichneten Resultate.

VII.

Mittlere Resultate aus Versuchen mit Würfeln, welche auf einander gelegt waren.	Specifisches Gewicht	Gewicht in Kilogr. bei Würfeln von 25 Centimeter Grundfläche
Ein Würfel von sehr hartem Liaisstein . .	2388	8851
Zwei auf einander gelegte Würfel von demselben Stein	—	5411
Drei desgleichen	—	4780
Ein Würfel von dem harten Stein aus dem Grund von Bagneur	2255	6650
Zwei auf einander gelegte Würfel von demselben Stein	—	4223
Drei Würfel desgleichen	—	3890
Ein Würfel aus hartem Felsstein von Chatillon	2342	5138
Zwei Würfel desgleichen	—	4010
Drei Würfel desgleichen	—	3853
Ein Würfel aus mittelhartem Felsstein von Chatillon	2162	3537
Zwei auf einander gelegte Würfel von demselben	—	2829
Drei desgleichen	—	2752
Ein Würfel von etwas härterem Felsstein von Chatillon	2199	3721
Zwei Würfel auf einander von demselben .	—	2977
Drei Würfel desgleichen	—	2890
Ein Prisma von derselben Grundfläche, aber von doppelter Höhe, aus hartem Felsstein von Chatillon	2346	5164
Ein anderes Prisma von gleicher Höhe, aus 4 auf einander gelegten Stücken zusammengesetzt	—	4431
Ein anderes desgleichen, aus 8 Stücken zusammengesetzt	—	3698

Diese Tabelle läßt erkennen, daß mehrere auf einander gelegte Würfel weniger Stärke haben als ein Parallelepipedum von gleicher Grundfläche und Höhe, wenn dasselbe aus einem Stück besteht. Ich habe beobachtet, daß diese Verminderung der Stärke daher kommt, daß die dem Zerdrücken vorhergehenden Spalten — indem sie sich von einem Würfel zum andern fortpflanzen — das Bilden der innern Pyramiden verhindern; denn es bedarf weniger Kraft, einen Stein zu spalten als die Pyramiden zu bilden, durch welche das Zerdrücken verursacht wird. Demnach müssen die Steine, welche ohne Zwischenmittel auf einander gesetzt sind, einer geringern Last nachgeben als diejenigen, welche noch durch einen Kitt oder Mörtel verbunden sind. Indessen findet diese Verminderung nicht im Verhältniß der Menge der auf einander gelegten Steine statt. Da nämlich **2** Würfel vom Liaisstein ungefähr $^3/_5$ der Last aushielten, bei welcher **1** Würfel zerdrückt wurde, so würden **3** auf einander gelegte Würfel nur $^2/_5$ ausgehalten haben, während sie doch mehr als die Hälfte zu tragen im Stande waren.

In Bezug auf den harten Stein von Bagneux, welcher etwas weniger zerbrechlich ist als der Liaisstein, haben die **2** auf einander gelegten Würfel beinahe $^4/_5$ der Last, welche **1** Würfel aushielt, getragen, während sie im Verhältniß zur Menge nur $^8/_{10}$ oder etwas mehr als die Hälfte getragen haben würden.

Man kann dieselben Bemerkungen auch in Bezug auf die beiden weniger harten Felsarten machen. Aber jener Unterschied ist noch bemerkbarer bei den letzten Versuchen, welche man in Bezug auf den harten Felsstein mit Parallelepepiden, deren Höhe das Doppelte der Seite der Grundfläche ist, angestellt hat. Da nämlich das in **4** Stücke getheilte Prisma **4431** Kilogramme aushalten konnte, so würde — wenn die Verminderung im Verhältniß der Menge der Stücke stattfände — das aus **8** Stücken bestehende Prisma nur **2215** Kilogramme zu tragen vermögen, während es doch **3698** Kilogramme ausgehalten hat.

Mehrere andere Versuche, welche mit **6** und **7** auf einander gelegten Würfeln angestellt worden sind, gaben etwas größere Resultate, weil die Würfel sich schwerer spalten als die Prismen, deren Höhe geringer ist als die Seite der Grundfläche.

Alle diese Versuche lehren, daß man bei Bestimmung der Stärke eines Pfeilers auf die Höhe der Schichten und auf ihre Menge Rück-

sicht nehmen muß. Auch hat es vielen Einfluß auf das Tragvermögen der Pfeiler, welche sehr belastet sind, ob jede Schichte aus einem oder aus mehreren Steinen besteht. Ferner ist zu bemerken, daß die Steine, welche sich als die stärksten bei der Prüfung mittelst der Maschine zeigen, oft weniger dem Druck bei den Bauten im Großen widerstehen — nämlich in dem Verhältniß, als sie spröder, zerbrechlicher und leichter spaltbar sind.

Die Unfälle bei den Pfeilern des Doms der Genoveven-Kirche geben davon einen Beweis. Die Theile aus dem Stein vom Mont-Souris haben widerstanden, während die aus dem harten Stein von Bagneux sich spalteten, zerbrachen und in allen Theilen zersprangen. Indessen erhielt man doch durch die Versuche die Stärke des Steins vom Mont-Souris nur zu $^4/_7$ der Stärke des Steins von Bagneux. —

Die Herren Soufflot, Perronnet und Gauthey haben Versuche unternommen, um zu erforschen, ob die Stärken im Verhältniß der Grundflächen zunehmen, und ob die verschiedene Gestalt der Grundflächen bei demselben Inhalt, oder verschiedene Höhen bei derselben Grundfläche, auf die Stärke Einfluß haben können. Da man aber bei diesen Versuchen außer Acht ließ, das specifische Gewicht von jedem geprüften Stück zu nehmen, so scheinen die Resultate nicht in gehöriger Beziehung weder zu dem Inhalt der Grundflächen, noch zu ihrer Gestalt, noch zur Höhe der Steine zu stehen.

Bei den mit dem weichen Stein von Givry durch Herrn Gauthey angestellten Versuchen fand man nämlich, daß — wenn die Grundflächen **100**, **144**, **215**, **324** und **576** Linien sind — die Stärken beziehlich **1350**, **1824**, **2295**, **3450** und **5472** betragen, indem sie doch, wenn sie den Grundflächen proportional wären, **1350**, **1944**, **2916**, **4376** und **7776** seyn müßten. In Bezug auf den harten Stein von Givry, welcher roth und von anderer Beschaffenheit als der weiche ist, fand man bei den Grundflächen von **112**, **144**, **180**, **240** und **324** Linien die von ihnen ausgehaltenen Gewichte gleich **2808**, **3408**, **4008**, **10152** und **13440**, indem sie doch im Fall der Proportionalität gleich **2808**, **3610**, **4512**, **6017** und **8123** seyn müßten.

Die Versuche, welche durch die Herrn Soufflot und Perronnet mit dem Stein von Saillancourt, der von mittlerer Härte ist und von welchem der Kubikfuß **156** Pfund wog, angestellt worden sind, gaben die mittlere Stärke aus zwei Versuchen:

bei	½	Zoll Grundfläche . .	825
„	1	„ „ . .	1825
„	2	„ „ . .	3600
„	3	„ „ . .	4775
„	4	„ „ . .	6225
„	6	„ „ . .	10725.

Wenn die Stärken mit den Grundflächen verhältnißmäßig gewesen wären, so müßte man gefunden haben **825, 1650, 3300, 4950, 6600** und **9900**. —

Ich habe diese Versuche mit drei verschiedenen Steinarten wiederholt. — Die erste Art war der harte Stein aus dem Grund von Bagneux, von welchem man Würfel von **9, 16, 25** und **36** Centimeter Grundfläche anwendete. Die Würfel wurden aus einer kleinen Platte von **22** Centimeter Länge, **10** Centimeter Breite und **6** Centimeter Dicke geschnitten, und die Platte selbst wurde aus dem Kern des Steins genommen. Das Korn war fein, das Gefüge sehr gleichförmig und das specifische Gewicht betrug **2255**. Die Versuche wurden mit zwei Würfeln von jeder Gattung ausgeführt.

		Kilogr.		
Würfel von **9** Centim. Grundfläche hielten aus:	der **1.**	**2228**	**2423**	im Mittel.
	„ **2.**	**2618**		
Würfel von **16** Centim. „	der **1.**	**4325**	**4263**	„
	„ **2.**	**4201**		
Würfel von **25** „ „	der **1.**	**6875**	**6650**	„
	„ **2.**	**6425**		
Würfel von **36** „ „	der **1.**	**9521**	**9775**	„
	„ **2.**	**10029**		

Die den Grundflächen verhältnißmäßigen Resultate hätten seyn müssen **2423, 4308, 6732, 9694**, welche nicht viel von den Resultaten aus den Versuchen abweichen.

Gleich große Würfel aus der zweiten Art, dem Stein von Tonnerre, wurden ebenfalls aus einem und demselben Stück geschnitten, welches das specifische Gewicht gleich **1786** hatte. Die mit diesen Würfeln angestellten Versuche gaben folgende Resultate:

	Kilogr.	
1. Würfel von **9** Centim.	**928**	**1053** im Mittel.
2. „ „ **9** „	**1178**	

		Kilogr.	
1. Würfel von	16 Centim.	1957	1817 im Mittel.
2. „ „	16 „	1677	
1. „ „	25 „	3023	3119 „
2. „ „	25 „	3215	
1. „ „	36 „	4825	4423 „
2. „ „	36 „	4021	

Nach dem Verhältniß der Grundflächen erhält man **1053**, **1872**, **2925** und **4212**.

Die dritte Steinart, mit welcher ich die Versuche vornahm, war der Stein von Conflans. Mit den Würfeln von denselben Abmessungen, aus einem Stück vom specifischen Gewicht gleich **1782** geschnitten, erhielt ich folgende Resultate:

			Kilogr.	
aus dem 1. Würfel von	9 Centim.	Grundfläche	422	495 i. Mit.
„ „ 2. „ „	9 „	„	568	
„ „ 1. „ „	16 „	„	845	874 „
„ „ 2. „ „	16 „	„	903	
„ „ 1. „ „	25 „	„	1452	1387 „
„ „ 2. „ „	25 „	„	1322	
„ „ 1. „ „	36 „	„	2059	2023 „
„ „ 2. „ „	36 „	„	1987	

Nach dem Verhältniß der Grundflächen erhält man **495**, **880**, **1375** und **1980**.

Alle diese Erfahrungen beweisen, daß sich die Stärken der Steine von gleicher Beschaffenheit und von gleicher Gestalt ungefähr wie die Grundflächen verhalten. —

In Bezug auf die Steine, deren Grundflächen von einerlei Inhalt aber von verschiedener Figur sind, hat man bemerkt, daß die von rechteckförmiger Grundfläche von einem geringern Gewicht zerdrückt werden als die von quadratförmiger. Der Unterschied ist um so größer, je mehr die an einander stoßenden Seiten des Rechtecks ungleich sind. Die langen Seitenflächen widerstehen nämlich weniger, und es entstehen keine Pyramiden. Wenn sich diese Steine nicht in Plättchen oder Nadeln zertheilen, so lösen sich an den großen Seitenflächen die Theile auf eine solche Art ab, daß oben in der Mitte (Figur d) eine Kante entsteht, welche nach und nach zerdrückt wird. — Um hierüber einige Erfahrungen zu sammeln, ließ ich aus dem Stein von Conflans,

der von mittlerer Härte ist, drei Parallelepipeden von quadratförmiger Grundfläche und drei andere von rechteckförmiger, welche jener gleich war, verfertigen. Die Seite der quadratförmigen Grundfläche betrug 4 Centimeter, die große Seite der rechteckförmigen 8 Centimeter und die kleine derselben 2 Centimeter.

		Kilogr.	
Das 1. Parallelepipedum von quadratförmiger Grundfläche wurde zerdrückt durch	.	864	863;
„ 2. „ „ „ „	.	832	
„ 3. „ „ „ „	.	893	
das 1. von rechteckförmiger durch	. . . .	828	821.
„ 2. „ „ „	. . . .	842	
„ 3. „ „ „	. . . .	793	

Bei Vergleichung der vorstehenden mittlern Resultate findet man für die rechteckförmige Grundfläche ungefähr $^1/_{20}$ des kleinern Resultats weniger als die quadratförmige bei gleichem Flächeninhalt.

Ist der Unterschied zwischen den Seiten des Rechtecks größer, so beträgt jene Verminderung noch mehr; aber sie wird nicht bemerkbar, wenn jener Unterschied geringer ist.

Ich ließ aus jener Steinart zwei Pfeiler von der Gestalt derjenigen ausführen, welche den Dom der Genoveven-Kirche tragen, um sie mit andern von quadrat- und kreisförmiger Grundfläche von gleichem Flächeninhalt — d. i. von 16 Centimeter — zu vergleichen. Diese bei den Versuchen angewendeten Pfeiler, welche gleiche Gestalt mit denen des Pantheons haben, trugen im Augenblick vor dem Zerdrücken:

	Kilogr.	
der 1.	709	703 im Mittel.
„ 2.	697	
der 1. mit quadratförm. Grundfl. .	850	856 „ „
„ 2. „ „ .	862	
der 1. mit kreisförm. Grundfläche .	912	917 „ „
„ 2. „ „ .	922	
der 1. mit einer Grundfläche von der Form eines gleichseit. Dreiecks und gleichem Inhalt . . .	786	789 „ „
„ 2. „ „ .	792	

Man kann aus diesen Erfahrungen schließen: daß die vortheilhafteste Gestalt der Grundfläche eines Widerlagers

die kreisförmige ist, und die am wenigsten vortheilhafte die Gestalt der Grundfläche jener Pfeiler. —

Es folgen hier noch einige andere vergleichende Erfahrungen, welche **1774** durch die Herren Soufflot und Peronnet an Parallelepipeden und Cylindern von gleicher Grundfläche und von gleicher Höhe aus dem Stein von Saillancourt gemacht worden sind. Die Parallelepipeden sind einerlei mit denen, welche wir bei den Versuchen mit verschiedenen Grundflächen angeführt haben.

Parallelepipeden.	Kilogramme		Cylinder.	Kilogramme	
1. von ½ Zoll Grundfläche .	925	825		925	950
2. „ ½ „ „ .	725			975	
1. „ 1 „ „ .	1850	1825		1850	1875
2. „ 1 „ „ .	1800			1900	
1. „ 2 „ „ .	3675	3600		4175	4300
2. „ 2 „ „ .	3525			4425	
1. „ 3 „ „ .	4775	4775		6050	5950
2. „ 3 „ „ .	4775			5850	
1. „ 4 „ „ .	6825	6025		7000	6587
2. „ 4 „ „ .	5225			6175	
		17050			19662

Indem man die Summe **17050** bei den Parallelepipeden mit der **19662** bei den Cylindern vergleicht, findet man die Stärke der Cylinder ungefähr um $^2/_{13}$ der Stärke der Parallelepipeden größer als diese bei gleich großer Grundfläche.

Gleiche Versuche, welche mit Cylindern und Parallelepipeden aus dem Stein von Conflans, der von mittlerer Härte ist, angestellt worden sind, gaben nachstehende Resultate:

Parallelepipeden.	Kilogramme		Cylinder.	Kilogramme	
1. von 6 Zoll Grundfläche .	4860	4785		5340	4845
2. „ 6 „ „ .	4710			4350	
1. „ 4 „ „ .	2550	2820		3750	3345
2. „ 4 „ „ .	3090			2940	
1. „ 3 „ „ .	2310	2385		2700	2700
2. „ 3 „ „ .	2460			2700	
		9990			10890

Aus der Summe der Mittelgewichte bei den Parallelepipeden gleich **9990** und aus der bei den Cylindern gleich **10890** ergiebt sich das Verhältniß ihrer Stärke gleich wie **111 : 121** oder wie **11 : 12**. — Es ist zu bemerken, daß dieses Verhältniß ungefähr dem umgekehrten der Umfänge eines Kreises und eines Quadrats von demselben Inhalt gleich ist. Nimmt man z. B. einen Kreis von **14** Zoll Durchmesser, so ist dessen Umfang gleich **14 . 3$^1/_7$ = 44** und dessen Inhalt gleich **154**. Die Quadratwurzel aus diesem giebt die Seite des Quadrats von gleichem Inhalt, und da diese Seite gleich **12$^2/_5$** ist, so ist der Umfang gleich **49$^3/_5$**. Wir haben also **49$^3/_5$: 44 = 12$^2/_5$: 11**. —

Aus allen diesen Erfahrungen und aus vielen andern, deren Anführung hier zu viel Raum wegnehmen würde, geht hervor: daß die gewöhnlichen — bei Aufführung von Gebäuden verwendeten Steine zu reißen und sich zu spalten anfangen bei einer Belastung, die ein wenig größer als die Hälfte des Gewichtes ist, bei welchem sie zerdrückt werden; daß dieses Zerdrücktwerden bei einer geringeren Belastung stattfindet, wenn diese von **5** Stunden bis **48** anhaltend fortdauert. Nimmt man demnach an, daß die Belastung einer Mauer oder eines Widerlagers auf allen Theilen ihrer Grundfläche gleichmäßig vertheilt sey, so würde es unklug seyn, sie eine Last tragen zu lassen gleich der Hälfte derjenigen, bei welcher sie nach den angeführten Erfahrungen und nach den Tabellen der **2**. Abtheilung des **1**. Buchs dieses Werks zerdrückt würden; denn die Erfahrung lehrt, daß es unmöglich ist — welche Vorsicht man auch anwendet — den Grad der Vollkommenheit zu erreichen, durch welchen man jene Wirkung hervorzubringen im Stande ist. Ueberdieß muß man Rücksicht auf die Lage der unterstützten Theile nehmen, welche nicht immer unmittelbar auf einander liegen, so daß sie nur einen auf der Grundfläche senkrechten Druck ausüben. Diese Theile sind im Gegentheil oft so angeordnet, daß schief wirkende Kräfte daraus hervorgehen, welche die jene Theile unterstützenden Widerlager umzustürzen und auf einen Theil ihrer Grundfläche die Belastung zu bringen streben, welche auf der ganzen Grundfläche gleich vertheilt seyn sollte.

Man muß ferner Rücksicht nehmen auf die Bewegung, welche sich stets bei den ohne Unterbrechung aufgeführten Gebäuden in dem

Augenblick bemerkbar macht, wo die großen Bautheile beendigt sind; ferner darauf, daß sich alle Theile wegen der Senkung und der unvermeidlichen Unregelmäßigkeiten in der Ausführung — selbst bei der größten Sorgfalt — ins Gleichgewicht setzen, welches besonders bei den Constructionen der Fall ist, bei deren Ausführung man vorläufige Stützen nöthig hat, wie bei den Gewölben.

Drittes Kapitel.

Verhältniss der Mauergrundflächen zu dem ganzen Flächenraum eines Gebäudes und Vergleichung der Constructionen bei verschiedenen Gebäuden.

Nachdem in den beiden vorhergegangenen Kapiteln die Grundsätze dargelegt worden sind, auf welchen die Widerstandsfähigkeit der Mauern und Widerlager beruht, und nachdem man die Anwendung auf Gebäude von verschiedener Gattung gezeigt hat, hielt man dafür, daß es interessant sey, das Verhältniß zwischen der Grundfläche der Mauern und Widerlager von den angeführten Gebäuden und der ganzen von ihnen besetzten und eingeschlossenen Fläche kennen zu lernen. Es wird bei dieser Vergleichung dieselbe Ordnung beobachtet, welche bei der Darlegung der Grundsätze befolgt worden ist, indem man von den leichtesten Bauten stufenweise zu denen übergeht, deren Mauern und Widerlager in Bezug auf ihre ganze Grundfläche die bedeutendsten sind. —

Die St. Pauls-Kirche vor den Mauern, welche in Figur **1** auf Tafel **CLXXXIV** dargestellt ist, nimmt eine Fläche von **9899** Quadratmeter oder **2605** Quadrattoisen ein, wovon **1176,1** Quadratmeter oder **309 1/2** Quadrattoisen auf die Mauern oder Widerlager kommen. Dieses ist beinahe $^2/_{17}$ der ganzen besetzten Fläche, oder $^2/_{15}$ der eingeschlossenen. — Man unterscheidet bei ihrem Grundriß drei Abtheilungen.

Bei dem ersten Theil, welcher das Vorhaus in sich begreift, nehmen die Mauern und Widerlager den 8. Theil der ganzen besetzten Fläche ein, und den 7. Theil der eingeschlossenen.

Bei dem zweiten Theil, welcher das große Schiff und die doppelten niedern Seiten (Abseiten oder Nebenschiffe), welche aus vier Säulen-

reihen bestehen, in sich schließt, nehmen die Mauern und Widerlager den **10.** Theil der ganzen besetzten Fläche ein, und den **7.** Theil der eingeschlossenen.

Bei der dritten Abtheilung, welche aus dem Chor, der großen Nische und den beiden Seitenkapellen besteht, nehmen die Mauern und Widerlager den **5.** Theil der ganzen Fläche, und den **4.** Theil der eingeschlossenen ein. —

Die St. Sabina-Kirche, welche auf dem Berg Aventin zu Rom liegt und durch Figur **2** auf derselben Tafel dargestellt ist, nimmt eine Fläche von **1407** Meter oder **370 1/4** Toisen ein, und die Mauern und Widerlager eine von **143,45** Meter oder **37 3/4** Toisen; dieses beträgt ein wenig mehr als den **10.** Theil der ganzen Fläche oder den **9.** Theil der eingeschlossenen. Das Zimmerwerk des Daches auf dem mittlern Schiff ist augenscheinlich wie bei der St. Pauls-Kirche vor den Mauern; dasjenige der Dächer auf den Nebenschiffen ist zum Theil mit einer Balkendecke versehen. Der hintere Theil der Kirche besteht aus drei gewölbten Nischen; die mittlere hat **10,91** Meter oder **33** Fuß **7** Zoll Durchmesser, und jede der beiden andern **3** Meter oder **9 1/4** Fuß. Der Grundriß dieser Kirche zeigt das schönste Beispiel von Einfachheit und Leichtigkeit, und wie deren Vereinigung möglich ist, um ein Gebäude dieser Art mit wenig Kosten aufzuführen. —

Die Kirche des heiligen Peterus in Vinculis, welche in Figur **3** dargestellt ist, zeigt einen Grundriß von derselben Art; aber die Nebenschiffe und die Theile hinten vor den großen Nischen sind gewölbt, so wie auch das Vorhaus; das Schiff der Kirche hat ebenfalls eine Decke, aber von Holz.

Die ganze Fläche dieser Kirche beträgt **2000,06** Meter oder **529 2/3** Toisen, wovon **311,6** Meter oder **82** Toisen auf die Mauern oder Widerlager kommen, welches ungefähr **2/13** der ganzen Fläche ausmacht, oder **2/11** der Fläche, welche von jenen eingeschlossen wird. —

Figur **4** ist der Grundriß der Kirche von St. Philipp von Neri, einer der schönsten Kirchen Neapels. Das Schiff des Eingangs ist mit einer Holzdecke versehen und mit gewölbten Nebenschiffen, welche durch Säulen von Granit, aus einem einzigen Stück bestehend, unterstützt sind. Diese Säulen sind durch Gewölbebogen verbunden, und auf diesen befindet sich eine Mauer, welche mit Fenstern versehen ist. Der übrige Theil der Kirche ist mit einem Dom in der Mitte überwölbt. Diese Kirche nimmt eine Fläche von **2121,4** Meter oder

558 1/4 Toisen ein, wovon 273,6 Meter oder 72 Toisen auf die Mauern und Widerlager kommen, welches etwas weniger als 1/7 oder 3/22 der ganzen Fläche beträgt, und 3/19 der von jenen eingeschlossenen Fläche. Wenn man aber nur den Theil des Eingangs betrachtet, so nehmen die Widerlager weniger als 1/9 der ganzen Fläche und weniger als 1/7 der inneren ein. —

Der durch Figur 5 dargestellte Grundriß ist der des großen Tempels von Pestum. Die von ihm eingenommene Fläche, äußerlich von den Säulen unten gerechnet, hat 1426,9 Meter oder 375 1/2 Toisen, wovon 64 3/4 Toisen die Widerlager einnehmen, also etwas mehr als den 6. Theil oder 4/23 der ganzen Fläche, und 4/19 oder etwas mehr als 1/5 der freien Fläche.

In dem Grundriß des Tempels der Juno Lucina zu Girgenti in Sicilien, Figur 6, wo die ganze Grundfläche des Tempels — wie bei dem vorstehenden — äußerlich von den Säulen genommen ist, hat diese Grundfläche 634 Meter oder 166 3/4 Toisen, und die der Mauern und Widerlager 103,2 Meter oder 37 1/6 Toisen, welches etwas weniger als 1/6 der ganzen Grundfläche und etwas weniger als 1/5 der freien Fläche ist.

Der Grundriß Figur 7 ist der des Tempels der Concordia, welcher sich ebenfalls zu Girgenti befindet. Seine ganze Grundfläche ist 636,6 Meter oder 167 1/2 Toisen, und die der Widerlager beträgt 123,6 Meter oder 32 1/2 Toisen, also weniger als 1/5 der ganzen Grundfläche und als 1/4 der freien Fläche.

Diese drei Beispiele beweisen, daß in den griechischen Tempeln, welche nicht mit einem Dache von Zimmerwerk und mit Decken von Holz oder Hausteinen versehen waren, die Mauern oder Widerlager doppelt so große Grundflächen haben als die Kirchen, von denen weiter im Vorhergehenden die Rede war. —

Bei den ägyptischen Monumenten, wie bei dem unter dem Namen das Grab des Osymandias bekannten, nehmen die Mauern und Widerlager 2/9 der ganzen besetzten Fläche und 2/7 der von jenen eingeschlossenen ein. (Man sehe: **Description de l'Égypte, Antiquités, tome IV.**)

Von den kreisförmigen Gebäuden.

Wir haben schon gesehen (Seite 128), daß die kreisförmigen Gebäude geringere Widerlager erfordern als die rechteckförmigen oder

die in gerader Linie. Unter den Gebäuden jener Art, welche nur mit einem Dach von Zimmerwerk versehen sind, hat die Rotunde des heiligen Stephanus, von der schon auf Seite **129** die Rede war, die geringste Grundfläche der Widerlager im Verhältniß zur Grundfläche des Gebäudes.

Mehrere Alterthumsforscher behaupten, daß dieses Gebäude, dessen Grundriß durch Figur **1** auf Tafel **CLXXXI** dargestellt ist, ein alter Tempel des Faun sey, den man unter dem Kaiser Claudius erbaut habe; andere halten es für ein See-Arsenal. Es nimmt eine Fläche von **3914,3** Meter oder **898**$^{2}/_{9}$ Toisen ein und die Grundfläche der Widerleger beträgt nur **190,6** Meter oder **50**$^{1}/_{6}$ Toisen. Es wäre also — indem man dieses Gebäude als völlig gedeckt voraussetzt, wie es sehr wahrscheinlich ist — die Grundfläche der Mauern und Widerlager nur der **10**. Theil der ganzen Fläche und der **17**. Theil der eingeschlossenen. — Der in Figur **2** dargestellte Durchschnitt zeigt auf der einen Seite die Art, wie dieses Gebäude gedeckt und erhellt werden könnte, und auf der andern seinen gegenwärtigen Zustand. —

In Bezug auf Gebäude von mehreren Stockwerken mit Decken hat man gefunden, daß bei dem größten Theil der Palläste von Paris, die zu Ende der Regierung Ludwigs **XIV**. und zu Anfang der von Ludwig **XV**. erbaut worden sind, die Grundfläche der Mauern und Stützpunkte ungefähr $^{1}/_{4}$ der ganzen Grundfläche ist, indem man die Oeffnungen der Thüren und Fenster nicht abzieht; aber beinahe der **6**. Theil, indem man sie abzieht.

Bei den — von Palladio im Vicentinischen und an andern Orten des Venetianischen Staates aufgeführten Gebäuden haben die Mauern und Widerlager von $^{1}/_{4}$ bis $^{1}/_{5}$, und — indem man die Oeffnungen abzieht — von $^{1}/_{7}$ bis $^{1}/_{8}$. Aber es ist zu bemerken, daß bei dem größten Theil das Erdgeschoß überwölbt ist und daß die großen Abtheilungen von **18** bis **25** Fuß Höhe haben. Bei den mit Balkendecken versehenen Stockwerken haben die großen Abtheilungen von **15** bis **20** Fuß Höhe. Die Mauern sind fast durchgehends mit Backsteinen oder aus Steinen von mittlerer Härte aufgeführt.

In Belgien und in den nördlichen Departements, wo man von den Backsteinen häufige Anwendung macht, ist die Grundfläche der Mauern und Widerlager oft nur $^{2}/_{15}$, wenn man die Oeffnungen der Thüren und Fenster nicht abzieht; zieht man diese ab, so ist sie ungefähr $^{2}/_{17}$.

Bei mehreren Gebäuden zu Paris, seit der Regierung Ludwigs XV. gebaut, sind die Mauern und Widerlager — ohne Abzug der Oeffnungen — gleich $^1/_5$ und mit Abzug $^2/_{15}$. Dieses ist sehr nahe das Verhältniß, welches die Vorschrift giebt, welche wir für die geringste Dicke vorschlagen, d. i. $^3/_{16}$ ohne Abzug und $^2/_{16}$ oder $^1/_8$ mit Abzug.

Bei den Palläſten Roms — wie die Palläſte Farneſe, Altems, Madame, von Monte-Cavallo, Barberini, Borgheſe, Roſpiglioſi, Aleſſandrini, Spada, Falconieri, Lanceloti u. ſ. w. — deren Erdgeſchoſſe überwölbt ſind, nehmen die Mauern und Widerlager ungefähr $^1/_4$ des ganzen beſetzten Raums ein, und $^2/_9$ nach Abzug der Oeffnungen durch die Thüren und Fenſter.

Bei den Palläſten von Paris und der Umgegend — wie bei dem Louvre, den Tuillerien, dem Luxemburg und den Palläſten zu Verſaille — bilden die Mauern und Widerlager $^7/_{18}$, nnd $^5/_{18}$ nach Abzug der Oeffnungen durch die Thüren, Fenſter, Gewölbbogen und andere.

Unter den Ruinen der Stadt Adrienne findet man bedeutende Ueberreſte von gewölbten Gebäuden und andere mit Balkendecken, ſo daß man dieſe Gebäude zu den Palläſten zählen kann. Die Berechnungen, welche ich in Bezug auf die Grundfläche ihrer Widerlager ausgeführt habe, ließen mich erkennen, daß bei den gewölbten Gebäuden — von jeder Oeffnung abgeſehen — jene Grundfläche zwiſchen $^1/_6$ und $^1/_7$ der ganzen beſetzten Fläche iſt. Bei den nicht gewölbten Gebäuden iſt dieſes Verhältniß zwiſchen $^1/_8$ und $^1/_9$. Man muß überdieß bemerken, daß die Mauern faſt durchgehends undurchbrochen waren, weil die Gebäude von oben erhellt wurden. —

Das Pantheon zu Rom, deſſen Grundriß durch Figur **1** auf Tafel **CLXXXV** dargeſtellt wird, iſt das größte gewölbte Gebäude, welches die Alten aufgeführt haben, d. i. dasjenige, welches den größten — durch ein einziges Gewölbe gedeckten Raum einſchließt. Sein äußerer Durchmeſſer beträgt **55,9** Meter oder **172** Fuß, und ſeine Grundfläche — ohne Einſchluß des Säulenganges — iſt **2475,8** Quadratmeter oder **651** $^1/_2$ Quadrattoiſen, wovon **616,8** Meter oder **162** $^1/_3$ Toiſen auf die Mauern und Widerlager kommen, woraus ſich etwas weniger ols $^1/_4$ ergiebt.

Mit Einſchluß des Säulengangs beträgt die ganze Grundfläche dieſes Gebäudes **3182** Meter oder **837** $^7/_{18}$ Toiſen, und die der Widerlager **739,2** Meter oder **194** $^1/_4$ Toiſen, d. i. $^2/_9$ der ganzen Grundfläche.

Es ist zu bemerken, daß dieses dasselbe Verhältniß ist wie bei den Palläſten zu Rom, und — wenn man den Säulengang nicht mit einschließt — ist es das Verhältniß wie bei den Palläſten zu Paris. —

Der Dom der Invaliden, dessen Grundriß Figur **2** auf derselben Tafel zeigt, nimmt eine Fläche von **2695**,4 Meter oder **709** $^1/_3$ Toiſen ein, und die Grundfläche der Mauern und Widerlager beträgt **724** Meter oder **190** $^1/_2$ Toiſen, was ungefähr $^4/_{15}$ der ganzen Grundfläche ausmacht, d. i. $^2/_{45}$ mehr als bei dem Pantheon zu Rom. —

Die Getreidehalle zu Paris, welche durch Figur **3** auf derselben Tafel dargeſtellt iſt (man ſehe die beigefügten Noten), nimmt eine Grundfläche von **3660**,**4** Meter oder **963** $^2/_7$ Toiſen ein, wovon auf die Mauern und Widerlager **307**,**8** Meter oder **81** Toiſen kommen. Betrachtet man dieſes Gebäude unabhängig von dem Hofraum, ſo findet man die Grundfläche des Baues ringsum, der überwölbt iſt, = **2466**,**2** Meter oder **648** Toiſen. In dieſem Falle würde die Grundfläche der Mauern und Widerlager ungefähr $^1/_8$ ſeyn. Wenn man aber den Hofraum überwölbte — wie ich vorgeſchlagen und die Möglichkeit der Ausführung bewieſen habe in einer Abhandlung, die ich **1803** bekannt machte —, alsdann würden die Mauern und Widerlager nur $^9/_{107}$ ſeyn, d. i. ein wenig mehr als $^1/_{12}$. — Wenn man ſich deſſen erinnert, was über den Vortheil der kreisförmigen Mauern vor den geradlinigen angeführt worden iſt, ſo wird man über dieſes Verhältniß nicht erſtaunt ſeyn. Als von der Rotunde des heiligen Stephanus die Rede war, zeigten wir, daß die Mauern und Widerlager nur $^1/_{18}$ der Grundfläche des Gebäudes einnahmen, — dagegen bei der St. Paulskirche vor den Mauern, deren Breite ſehr nahe dem Durchmeſſer der ſonſt ebenſo angeordneten Kirche des heiligen Stephanus gleich iſt, jenes Verhältniß $^1/_{10}$ beträgt; alſo beinahe das Doppelte von jenem iſt, oder ſich verhält wie **9** : **5**. —

Es befinden ſich zu Rom, nahe am Thor Maggiore, die Ruineu eines großen Gebäudes, welches man im gemeinen Leben Galuzzo nennt und welches durch die Figuren **1** und **2** auf Tafel **LXIX** dargeſtellt iſt. Das Innere bildet im Grundriß ein ſechsſeitiges Polygon, deſſen einander gegenüber befindlichen parallelen Seiten **23**,**67** Meter oder **72** Fuß **10** Zoll Entfernung haben. Die Ueberreſte dieſes Gebäudes, welches Einige für eine Baſilike und Andere für einen Tempel des Herkules halten, nehmen eine Grundfläche von **855** $^2/_3$ Meter oder

225 1/6 Toiſen ein, wovon 201,4 Meter oder 53 Toiſen auf die Mauern und Widerlager für den — auf der Kupfertafel mit A bezeichneten Theil des Erdgeſchoſſes kommen, welches etwas weniger als 1/4 der ganzen Grundfläche, d. i. 4/17 ausmacht. Da aber ein Theil dieſer Widerlager zu Bautheilen diente, welche nicht mehr beſtehen, ſo findet man — indem man nur den abgeſonderten Theil über den Niſchen betrachtet, welcher auf der Tafel durch B bezeichnet iſt — die Grundfläche, welche dieſer Theil mit den Strebepfeilern einnimmt, gleich 627 Meter oder 165 Toiſen, wovon 114 Meter oder 30 Toiſen auf die Mauern und Strebepfeiler kommen, welches 2/11 der ganzen Fläche beträgt. Dieſes Gebäude iſt wie das Pantheon aus Bruchſteingemäuer — mit Backſteinen bekleidet — aufgeführt Das Gewölbe iſt kugelförmig und beſteht ebenfalls aus kleinen Tuffſteinen und andern leichten Steinen, mit Backſteinrippen, welche in Geſtalt von Strebebogen in den eingehenden Winkeln aufgeführt ſind. —

Der Grundriß der Kirche des St. Vital zu Ravenna, [1]) in Figur 3 auf derſelben Tafel, gehört zu einem — im ſechsten Jahrhundert erbauten achteckigen Gebäude mit einem vorſpringenden Theil, welcher das Chor bildet, und mit Kapellen, die ſpäter erbaut worden zu ſeyn ſcheinen. Der urſprüngliche Theil, welcher ſtärker bezeichnet iſt, nimmt eine Fläche von 676,2 Meter oder 178 Toiſen ein, wovon 106,1 Meter oder 28 Toiſen auf die Mauern und Stützpunkte kommen, welches etwas weniger als 1/6 der ganzen Grundfläche oder 3/10 iſt.

Die große mittlere Kuppel, welche 16,9 Meter oder 52 Fuß Durchmeſſer hat, iſt ſtatt der Backſteine aus kurzen Röhren aufgeführt, die in einander greifen und — wie man es in Figur B ſieht — ſpiralförmige, ſtatt konzentriſche Reihen bilden. Dieſes mit vollem Bogen ausgeführte Gewölbe beſteht bis auf ungefähr 36 Grad oder bis auf 2/3 ſeiner Höhe aus einem Gemäuer von gebrannten Gefäßen, deren Geſtalt und Abmeſſungen die Figur A zeigt; durch ſie will man das Gewölbe verſtärken, ohne das Gewicht zu vermehren. Der aus der Mauer tretende Theil des Gewölbes hat unten drei und oben zwei Röhren zur Dicke, wie man es in den Durchſchnitten Figur 4 und 5 ſieht. —

---

1) Wir haben die Beſchreibung von dieſem und dem vorhergegangenen Monument und das Ausführliche ihres Baues in dem 4 Buch des 2. Bandes auf Seite 330 mitgetheilt.

Die Figur **1** der Tafel **CLXXXVI** ist der Grundriß der Sophienkirche zu Konstantinopel, welche von Anthemius von Trallis und Isidorus von Milet — zweien griechischen Baumeistern — während der Regierung Justinians gegen die Mitte des sechsten Jahrhunderts, d. i. zur Zeit der Erbauung der St. Vitalkirche zu Ravenna, erbaut worden ist. Jenes Gebäude, welches völlig gewölbt ist, nimmt mit den Vorgebäuden und Treppen eine Grundfläche von **9571,1** Meter oder **2524** Toisen ein, wovon **2097,3** Meter oder **552** Toisen auf die Mauern und Widerlager kommen, d. i. etwa $^{3}/_{14}$ der ganzen Fläche.

Die Kuppel, welche sich in der Mitte dieses Gebäudes erhebt, hat **35,1** Meter oder **108** Fuß Durchmesser; ihre höchste Spitze befindet sich **61,4** Meter oder **189** Fuß über dem Pflaster. (Man sehe die beigefügten Noten.) —

Auf derselben Tafel ist Figur **2** der Grundriß des Gebäudes, das sich zu Rom befindet und unter dem Namen „der Friedenstempel" bekannt ist; es wurde unter dem Kaiser Claudius angefangen und unter Vespasian beendigt.

Dieses Gebäude nimmt mit dem Säulengang eine Grundfläche von **1665** $^{1}/_{3}$ Toisen ein, wovon **209** $^{2}/_{3}$ auf die Mauern und Widerlager kommen, welches etwas weniger als $^{1}/_{8}$ der ganzen Fläche oder $^{25}/_{199}$ ausmacht.

Das mittlere Schiff hatte nach den noch bestehenden Ruinen **77,4** Meter oder **239** Fuß Länge (ohne die große Nische hinten mitzurechnen), **25,19** Meter oder **77** $^{1}/_{2}$ Fuß Breite und **36,4** Meter oder **112** Fuß Höhe bis zum Scheitel des Gewölbes. —

Die unter den Kaisern erbauten Thermen oder warmen Bäder waren unermeßliche Gebäude, welche in der Mitte sehr große Säle hatten, auf die Weise wie der Saal des Friedenstempels erbaut. Deßhalb hielten mehrere Alterthumsforscher dafür, daß dieses schöne Monument eher ein Ueberrest alter Bäder sey, oder ein Anhang zum Pallast des Nero, der unter dem Namen „das goldene Haus" bekannt ist, — als ein Tempel.

Die Bäder sind unter allen — von den Römern aufgeführten gewölbten Gebäuden diejenigen, welche die größte Grundfläche einnehmen. Die Grundfläche der unter Diocletian gebauten hat **119934** Meter oder **31351** Toisen, wovon **43563** Meter oder **11464** Toisen mit den Bautheilen besetzt sind.

Die von Antonin Caracalla nehmen eine Grundfläche von **144332** Meter oder **32719** Toisen ein, wovon **59553,6** Meter oder **15672** Toisen auf die Bautheile kommen.

Das Hotel der Invaliden, welches eins der größten Gebäude von Paris ist, nimmt nur mit seinen Bautheilen eine Grundfläche von **35309,6** Meter oder **9292** Toisen ein, nämlich:

der Dom und die Kirche	**4696,8**	Meter	oder	**1236**	Toisen
die großen Gebäude . .	**14679,4**	„	„	**3863**	„
„ mittlern „ . .	**11989**	„	„	**3155**	„
„ kleinen „ . .	**3944,4**	„	„	**1038**	„
	35309,6	Meter	oder	**9292**	Toisen.

Nur der Dom und die Kirche können mit den römischen Bädern, deren große mittlere Säle unsern größten Kirchen gleich kommen, verglichen werden.

Das mittlere Gebäude der Bäder des Diocletian hat **32680** Meter oder **8600** Toisen zur Grundfläche, d. i. **1 1/2** mal so viel als die Grundfläche der St. Peterskirche zu Rom, und über **5** mal so viel als die der Kirche Notre-Dame zu Paris. Der große mittlere Saal, welcher gegenwärtig als Kirche dient, hat **58,71** Meter oder **180** Fuß **8** Zoll Länge, **24,18** Meter oder **75** Fuß **5** Zoll Breite und **30,55** Meter oder **94** Fuß Höhe bis zum Scheitel des Gewölbes. Die Mauern und Widerlager nehmen etwas mehr als den **6.** Theil der ganzen Grundfläche ein.

Das mittlere Gebäude der Bäder des Caracalla, dargestellt auf Tafel **CLXXXVII**, nimmt eine Grundfläche von **25604,4** Meter oder **6738** Toisen ein, wovon **1184** Toisen auf die Mauern und Widerlager kommen, welches etwas mehr (nämlich **3/17**) als bei den Bädern des Diocletian beträgt. [1])

Der große mittlere — mit **B** bezeichnete Saal hat **55,41** Meter oder **170** Fuß **6** Zoll Länge, **21,64** Meter oder **74** Fuß **4** Zoll Breite und **30,22** Meter oder **93** Fuß Höhe.

---

1) Bis jetzt war der Grundriß dieses Gebäudes nur unvollkommen bekannt. Die gelehrten Untersuchungen des Herrn Blouet, Architekten und ehemaligen Pensionnärs der Akademie von Frankreich, brachten ihn endlich zu seiner Vollständigkeit. Aus dem interessanten Werk, welches er hierüber bekannt gemacht hat, haben wir den Plan auf jener Tafel entnommen.

Die große Rotunde, welche mit **A** bezeichnet ist, hatte **33,8** Meter oder **104** Fuß Durchmesser. Die mit **C** bezeichnete Abtheilung ist die berühmte **Cella Soleare**, von welcher Spartian in der Lebensbeschreibung des Antonin Caracalla erzählt. (Man sehe im **VII.** Buch die Anführung dieser Stelle.)

Die römischen Bürger, welche sich weder mit Künsten noch mit Handel beschäftigten, hatten sehr große Gebäude zu ihren Versammlungen nöthig. Daher kommt die Größe der öffentlichen Gebäude und besonders der Bäder. Ammian Marcellin erzählt, daß ihre Zahl, Ausdehnung und Pracht die Bewunderung Aller erregten, die nach Rom kamen.

Der Name dieser Gebäude (Thermen) kommt von dem griechischen θερμὸς, welches Wärme bezeichnet. Dieser wurde ihnen gegeben, weil sie zu warmen Bädern dienten. In der Folge vereinigte man hiermit die fünf Leibesübungen, welche auf den Uebungsplätzen der Griechen stattfanden, nämlich: das Laufen, Werfen, Ballspielen, Ringen und der Faustkampf. Es befanden sich in diesen Gebäuden Säulenhallen, Gallerien und Säle zur Unterhaltung, wohin sich die Philosophen zur Mittheilung ihrer Lehren und die Schriftsteller zum Vortrage ihrer Werke begaben. Alle Theile der Thermen waren sehr geräumig und gewölbt. Im Innern befanden sich Granitsäulen; die Wände waren mit kostbarem Marmor bekleidet, und mit Vasen, Statuen und Gemälden geziert; der Boden bestand aus Mosaik, und die Gewölbe enthielten Malereien und Stuckaturarbeiten. Man kann sich eine genaue Vorstellung von dieser unerhörten Pracht aus dem schon angeführten Werk des Herrn Blouet verschaffen.

Es scheint, die Kaiser hatten sich darin gefallen, diese Gebäude mit der größten Pracht auszuschmücken. Man fand darin die Meisterwerke der Maler- und Bildhauer-Kunst und andere kostbare Gegenstände, welche die Römer aus den vornehmsten Städten Griechenlands und Asiens gezogen hatten.

Die merkwürdigsten dieser Gebäude sind aufgeführt worden:

unter	Agrippa	im Jahr	**10**	nach	Christus
„	Nero	„ „	**64**	„	„
„	Vespasian	„	**68**	„	„
„	Titus	„ „	**75**	„	„
„	Domitian	„	**90**	„	„
„	Trajan	„ „	**110**	„	„

unter	Adrian	im Jahr	. . .	**120**	nach Christus
„	Commodus	„	. . .	**188**	„ „
„	Antonin Caracalla	i. Jahr		**217**	„ „
„	Alexander Severus	„		**230**	„ „
„	Philipp	„		**245**	„ „
„	Decius	„		**250**	„ „
„	Aurelian	„		**272**	„ „
„	Diocletian	„		**295**	„ „
„	Constantin	„		**324**	„ „

Außer diesen Thermen zählen Victor und Ruffus an **800** Bäder, wovon die vorzüglichsten waren: die des Paulus Aemilius, des Julius Cäsar, Mäcenas, der Livia, des Sallustius, der Agrippina u. s. w.

In Bezug auf Baukunst sind diese Gebäude auch merkwürdig durch die Art ihrer Aufführung, durch die dabei verwendeten Materialien und durch die Vorsichtsmaßregeln, womit man sie ausgeführt hat. Obgleich Mauern und Widerlager nur aus Bruchsteingemäuer, mit Backsteinen bekleidet, bestehen, so sind doch alle noch vorhandenen Theile so gut verbunden, daß sie nur eine einzige Masse bilden, wiewohl der größte Theil seiner Backsteinbekleidung beraubt und schon seit mehreren Jahrhunderten allen Einflüssen der Witterung ausgesetzt ist. Die **9.** Figur auf Tafel **LXI** zeigt, wie diese Construction bewerkstelligt ist.

Die Kanäle und Wasserbehälter, welche das Wasser für diese Bäder lieferten, sind mit so vieler Sorgfalt ausgeführt worden, daß mehrere von den übriggebliebenen noch jetzt zu demselben Gebrauche dienen, und die andern dazu verwendet werden könnten. Ihr Inneres ist mit einer starken Lage von Cement bekleidet, alle eingehenden Winkel sind abgerundet, und der Grund bildet eine krumme Fläche, welche in der Mitte tiefer ist und sich mittelst einer Abrundung an die Wände der Länge nach anschließt. Das Mauerwerk dieser Wände ist mittelst der Mörtelwäsche aufgeführt. Es hat sich daraus ein Ganzes gebildet, welches für Wasser undurchdringlich ist, wie Gefäße von Marmor oder gebrannter Erde. —

Das größte und prächtigste Gebäude, welches die Neuern aufgeführt haben, ist die St. Peterskirche zu Rom, deren Grundriß auf Tafel **CLXXXVIII** dargestellt ist. Dieses Gebäude nimmt eine Grundfläche von **21103,1** Meter oder **5553** $^{4}/_{9}$ Toisen ein, wovon **5511,1** Meter oder **1450** $^{1}/_{2}$ Toisen auf die Mauern und Widerlager kommen, d. i.

mehr als der 4. Theil der ganzen und mehr als der 3. Theil der freien Fläche. Diese Mauern und Widerlager bestehen äußerlich aus dem Travertinstein, im Innern aus dem Peperino (einem grauen vulkanischen Tuffstein) und aus Backsteinen, und die Ausfüllungen (Füllwerke) aus Bruchsteinen. — Bramante, welches der erste Baumeister an diesem Gebäude war, hatte den Plan entworfen, das Größte und Prächtigste der Alten zu vereinigen, indem er — nach seinem Ausdruck — das Pantheon über den Friedenstempel erheben wollte. Der Plan von Bramante war wirklich schön und weit ausgedehnt. Seine Ausdehnung betrug, ohne Einschluß des äußern Säulenganges, **19843** Meter oder **5222** Toisen, und die Mauern und Widerlager nahmen eine Fläche von **4354,8** Meter oder **1146** Toisen ein, welches ungefähr $^2/_9$ der ganzen Grundfläche ausmacht, wie bei dem Gebäude, welches von seinen Nachfolgern ausgeführt wurde. Aber in dem Plan von Bramante waren die Widerlager viel besser vertheilt, sowohl hinsichtlich des Effekts und der schönen Anordnung als auch der Dauerhaftigkeit. — Bramante, welcher einen äußerst hitzigen Charakter hatte und dieses Gebäude ebenso schnell beendigt als angefangen sehen wollte, wandte so viele Eile und so geringe Sorgfalt bei den Bautheilen an, welche er aufführen ließ, daß kaum nach Beendigung der vier Bogen des Doms sich beträchtliche Mauerspalten zeigten.

Die Architekten nach Bramante, erschreckt durch diese Spalten, dachten nur auf Vermehrung der Widerlager, ohne einzusehen, daß diese Unfälle eher von Fehlern im Bau als von einer zu geringen Grundfläche herkamen, und besonders von der Art, wie auf sehr verschiedenem Grund die Fundamente gelegt waren. Zwei von den Pfeilern nämlich waren auf Fundamenten eines alten Circus des Nero errichtet worden, und die andern auf einem Boden, welchen das von nahen Hügeln herabkommende Wasser durchdrungen hatte. (Man sehe die am Ende des 2. Bandes beigefügten Noten.)

Es war unmöglich, daß diese Pfeiler, welche von einander getrennt und ohne Anwendung gehöriger Vorsicht fundamentirt wurden, einer gleichen Senkung unterworfen waren, aus deren Ermangelung die Mauerspalten hervorgingen, welche jene Bogen erhielten. Die übrigen Theile des Gebäudes wurden mit derselben Unvorsichtigkeit ausgeführt. Vazari erzählt, daß San-Gallo, einer der Nachfolger von Bramante, aus Florenz einen gewissen Lorenzetto kommen ließ, welcher ohne Talente und sehr interessirt war, und seine Arbeiten nur nach der

Elle bestimmte. Er bereicherte sich in sehr kurzer Zeit, indem er sehr schlechte Werke aufführte. Die zur Zeit Michael Angelo's ausgeführten Bauten haben auch den Fehler, daß die Ausfüllungen ebenfalls mittelst verlorener Steine ohne Sorgfalt und ohne Anordnung bewerkstelligt wurden, woraus in der Folge alle Mauerspalten des Doms entstanden, wie wir es schon auf Seite **311**, **312** und **385** bis **391** des **2**. Bandes angeführt haben. —

Die Kathedrale **Santa-Maria de fiori** zu Florenz, deren Grundriß in Figur **2** auf Tafel **CLXXXIX** dargestellt ist, wurde **1298** von dem florentinischen Architekten Arnolph angefangen.

Dieser Plan zeigt zwei so verschiedene Theile, daß man kaum an ihre Ausführung zu gleicher Zeit und von demselben Architekten glauben kann. Der Theil, welcher das Schiff des Eingangs enthält, hat ganz die Leichtigkeit der neuern gothischen Bauart, dagegen der Theil in der Tiefe, enthaltend den Dom und die drei Arme des Kreuzes, ganz die Schwerfälligkeit der alten gothischen Bauart. Es ist wahrscheinlich, daß Arnolph — dessen Absicht es war, den achteckigen Raum in der Mitte durch ein großes Gewölbe zu decken, ähnlich dem der in der Nähe befindlichen Taufkapelle des heiligen Johannes — danach gestrebt hatte, den Pfeilern, welche das Gewölbe tragen sollten, eine große Stärke zu geben, um dem zu erwartenden Druck zu widerstehen.

Als Arnolph im Jahre **1300** starb, standen wirklich nur drei Bogen, welche zum Tragen dieser großen Kuppel bestimmt waren. Die Arbeiten blieben unterbrochen bis zum Jahr **1420**, wo Philipp Brunelleschi mit der Fortsetzung beauftragt wurde. Die außerordentliche Größe dieser Kuppel, deren Durchmesser **42,04** Meter oder **129** Fuß **4** Zoll beträgt, hatte die Aufmerksamkeit in allen Ländern erregt. Es wurde eine Versammlung der berühmtesten Architekten und Mathematiker der damaligen Zeit zusammenberufen, um bei der Berathung über die Mittel zur Aufführung eines so beträchtlichen Gewölbes mitzuwirken. Nach vielen Berathungen erbot sich Brunelleschi, welcher sich seit langer Zeit mit diesem Gegenstand beschäftigt hatte, das Gewölbe aufzuführen, ohne dabei von den vorgeschlagenen Pfeilern und Bogen, welche die Kosten verdoppelt hätten, Gebrauch zu machen. Als er sah, daß man seinen Vorschlag ins Lächerliche zog, verweigerte er das Vorlegen seiner Plane und seines Modelles. Man nahm indessen sein Erbieten an, und sobald man sein Modell gesehen hatte, zweifelte man nicht mehr an der Möglichkeit der Ausführung. Die

Kuppel wurde im Jahr **1434** beendigt. Die Laterne oben war noch nicht fertig, als Bruneleschi im Jahr **1440** starb. Sie wurde erst **1456** nach seinen Planen beendigt.

Die Grundfläche der Kirche **Santa-Maria de fiori** hat **7881,2** Meter oder **2074** Toisen, wovon **1582,7** Meter oder **329**$^{2}/_{3}$ Toisen auf die Mauern und Widerlager kommen, d. i. $^{3}/_{11}$ der ganzen Grundfläche und $^{3}/_{8}$ der eingeschlossenen.

Wenn man nur das Schiff des Eingangs betrachtet, so findet man seine Grundfläche zu **3294,4** Meter oder **1868** Toisen, wovon **329,7** Meter oder **86**$^{5}/_{6}$ Toisen auf die Mauern und Widerlager kommen, d. i. sehr nahe $^{1}/_{10}$ der ganzen Grundfläche und $^{1}/_{9}$ der eingeschlossenen. —

Die St. Paulskirche zu London, deren Grundriß sich auf derselben Tafel Figur **1** befindet, stellt eine Art von Kreuz vor, in dessen Mitte sich ein Dom erhebt, welches der größte ist nach dem Dom des St. Peters zu Rom. Sein Grundriß unten bildet ein regelmäßiges Achteck, welches von acht Bogenstellungen durchbrochen ist, wovon vier große den Hauptschiffen zugehören und die vier andern den Nebenschiffen. Diese sinnreiche Anordnung verschafft sehr interessante Durchsichten. Die Idee hierzu gab vielleicht der Grundriß der Kuppel der **Santa-Maria de fiori** zu Florenz. Aber — wie dem auch sey — man muß gestehen, daß jene Anordnung weit besser ist, als die mit abgestutzten Ecken, welche man bei neuern Kuppeln gewählt hat. Dieselbe gewährt außerdem den Vortheil, daß sie eine festere — aus acht Pfeilern gebildete Grundlage darbietet und weniger vorspringende Strebebogen hat.

Der von den Strebebogen an der St. Paulskirche zu London gebildete Kreis ist kleiner als das von den Pfeilern gebildete Achteck; denn der Durchmesser von jenem ist nur **31,92** Meter oder **99** Fuß **3** Zoll, während der von dem Achteck **32,93** Meter oder **101** Fuß **4** Zoll beträgt. Die Strebebogen sind durch ein vollständiges Gesims gekrönt, das mit Kragsteinen und Sparrenköpfen geziert ist.

Der sich darüber erhebende Thurm des Doms ist nicht — wie bei andern — senkrecht über dem durch die Strebebogen gebildeten Kreis errichtet, sondern um **1,14** Meter oder **3**$^{1}/_{2}$ Fuß eingerückt, so daß er an der Grundfläche **34,2** Meter oder **105** Fuß **3** Zoll Durchmesser hat. Diese Zurücktretung um **1,14** Meter oder **3**$^{1}/_{2}$ Fuß wird durch drei Stufen und eine Bank eingenommen, auf welche man sich

setzen kann. Vorn ist ein eisernes Gittergeländer, welches auf dem Vorsprung des Karnießes ruht, dessen oberer Theil **29,97** Meter oder **92** Fuß **3** Zoll über dem Pflaster erhoben ist.

Die kreisförmige Mauer dieses Thurmes ist — statt senkrecht — um **1**$^1/_2$ Meter oder **4** Fuß **8** Zoll auf eine Höhe von **19,09** Meter oder **58** Fuß **9** Zoll nach innen geneigt, d. i. ungefähr um $^1/_{12}$ der Höhe. Diese Einrichtung, welche bei gewöhnlichen Bauten ein Fehler seyn würde, ist durch den Ritter Wren, den Architekten dieses Gebäudes, ersonnen worden, um dadurch die Widerstandsfähigkeit dieser Mauer zu erhöhen, damit sie nämlich mehr Stärke besitzt, den vereinten Wirkungen des großen innern Gewölbes, welches die Kuppel bildet, und dem kegelförmigen Thurm, welcher die Laterne trägt, zu widerstehen.

Die ganze Grundfläche dieser Kirche beträgt **7809** Meter oder **2055** Toisen, wovon **1330** Meter oder **350** Toisen für die Mauern und Stützpunkte sind, d. i. etwas mehr als $^1/_6$ der ganzen Grundfläche, und $^1/_4$ der freien Fläche.

Betrachtet man aber nur den Theil, welcher zum Dom gehört und durch die vier Vorgebäude **A**, **B**, **C**, **D** begränzt ist, so findet man, daß die Widerlager etwas weniger als $^1/_4$ der ganzen Grundfläche einnehmen, nämlich $^8/_{33}$, und $^8/_{25}$ des freien Raums. (Man sehe die für die Tafeln beigefügten Noten.)

Auf Tafel **CLXXXX** hat man zur Vergleichung die Grundrisse der Hauptkirche von Mailand und der Kirche Notre-Dame zu Paris abgebildet. Beide gothischen Bauwerke sind durch die schöne Anordnung ihres Grundrisses merkwürdig. Die Kirche zu Mailand, Fig. **1**, welche die größte ist, nimmt eine Grundfläche von **11696,4** Meter oder **3078** Toisen ein, wovon **1985,6** Meter oder **522**$^1/_4$ Toisen auf die Mauern und Widerlager kommen, d. i. über $^1/_6$ oder $^8/_{47}$ der ganzen Fläche, wenn man die leeren Räume der Fenster, die sehr hoch sind, nicht wegläßt. Zieht man diese ab, so verwandelt sich die Grundfläche der Widerlager in weniger als $^1/_7$ der ganzen Grundfläche.

Vergleicht man nur den inneren Raum mit den abgesonderten Pfeilern, welche das Gewölbe tragen, so findet man, daß diese Stützpunkte nur $^1/_{43}$ des Raums einnehmen, welcher von den Mauern eingeschlossen wird. Dieser Raum hat nämlich, die Sakristeien nicht eingeschlossen, **8677,3** Meter oder **2283**$^1/_2$ Toisen, und die Grundfläche der abgesonderten Pfeiler beträgt **201** Meter oder **53** Toisen.

Die Kirche Notre-Dame zu Paris nimmt eine Fläche von **6258,6** Meter oder **1647** Toiſen ein, wovon **816,4** Meter oder **230 2/3** Toiſen auf die Mauern und Stützpunkte kommen, nach Abzug der Oeffnungen für die Fenſter und Kapellen, wodurch man etwas weniger als 1/7 der ganzen Fläche erhält. Daraus folgt, daß dieſe Kirche von etwas leichterer Bauart iſt als die zu Mailand.

Die innere Grundfläche der Notre-Dame beträgt **4520** Meter oder **1189 1/2** Toiſen, ohne Einſchluß der Kapellen, und die Widerlager, welche die Gewölbe tragen, haben **136,8** Meter oder **36** Toiſen zur Grundfläche, alſo etwas weniger als 1/33 der innern freien Grundfläche. Man ſieht alſo, daß die innern Widerlager, welche ſich in dieſer Kirche in größerer Zahl und näher an einander gerückt befinden als in der zu Mailand, im Verhältniß zum innern Raum eine größere Grundfläche haben, nämlich 1/33, ſtatt 1/43, welches einen Unterſchied von 1/142 giebt.

Die Gallerien über den Nebenſchiffen der Kirche Notre-Dame nehmen eine Grundfläche von ungefähr **2234,4** Meter oder **588** Toiſen ein. Addirt man dieſe zu der oben angegebenen von **4520** Meter oder **1189 1/2** Toiſen, wobei die Kapellen abgezogen ſind, ſo erhält man **6754,5** Meter oder **1777 1/2** Toiſen für den freien Raum, während der innere Raum der Kirche zu Mailand **8677,3** Meter oder **2283 1/2** Toiſen, nämlich über 1/4 mehr als die Notre-Dame zu Paris, wenn man die Gallerien hinzurechnet. —

Die neue Genoveven-Kirche, Figur **1**, Tafel **CLXXXXI**, nimmt eine Grundfläche von **5593,5** Meter oder **1472** Toiſen ein, wovon **861,4** Meter oder **226 3/4** Toiſen auf die Mauern und Widerlager kommen, was etwas weniger als 1/6 oder 4/25 der ganzen Grundfläche beträgt.

Nimmt man nur den von den Mauern eingeſchloſſenen Raum, um ihn mit den getrennten Widerlagern zu vergleichen, welche den Dom und die Gewölbe tragen, ſo findet man auf **4389,35** Meter oder **1155 1/4** Toiſen nur **134,24** Meter oder **35 1/3** Toiſen für die Widerlager, d. i. etwas über 1/33 der ganzen innern Fläche. Hieraus ergiebt ſich, daß bei dieſem Gebäude die Widerlager im Innern ſehr nahe in dem Verhältniß derer der Kirche Notre-Dame zu Paris ſtehen. (Man ſehe die den Tafeln beigefügten Noten.) —

Die Kirche des heiligen Sulpicius, welche ſich auf derſelben Tafel, Figur **2**, befindet, nimmt eine Grundfläche von **5646,8** Meter oder

1486 Toisen ein, wovon **848,2** Meter oder **223** $^1/_5$ Toisen auf die Mauern und Stützpunkte kommen, welches etwas unter $^1/_6$ der ganzen Grundfläche oder $^3/_{20}$ beträgt.

Vergleicht man nur die getrennten Pfeiler mit dem innern Theil, ohne die Kapellen, so findet man, daß die Stützpunkte für die Gewölbe der Schiffe und des Kreuzes unter $^1/_{32}$ des innern Raums sind, d. i. etwas mehr als bei der Notre-Dame zu Paris und bei der neuen Genoveven-Kirche. —

Figur **3** derselben Tafel zeigt den Grundriß der Kirche des heiligen Dominikus des Großen zu Palermo in Sicilien. Die Grundfläche derselben ist **3173,2** Meter oder **835** $^1/_{18}$ Toisen, wovon **463,6** Meter oder **122** Toisen auf die Mauern und Widerlager kommen, welches etwas über $^1/_7$, oder $^8/_{55}$ der ganzen Grundfläche beträgt. Nimmt man aber nur den mittlern Theil, dessen Gewölbe durch getrennte Widerlager gestützt sind, so findet man nur **39,9** Meter oder **10** $^1/_2$ Toisen für diese Stützpunkte auf **1866,8** Meter oder **191** $^1/_4$ Toisen Raum, d. i. etwas weniger als $^1/_{47}$. —

Die Kirche des heiligen Joseph in derselben Stadt ist von einer noch leichteren Bauart; nämlich auf **2420,6** Meter oder **637** Toisen Grundfläche kommen **335,6** Meter oder **88** $^1/_3$ Toisen auf die Mauern und Widerlager, d. i. weniger als $^1/_7$, oder $^4/_{29}$ der ganzen Grundfläche. Die getrennten Stützpunkte sind weniger als $^1/_{60}$ des innern Raums, dessen Gewölbe sie tragen, weder Chor noch Kapellen miteinbegriffen. — —

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung alles Dessen, was über das Verhältniß der Grundfläche der Mauern und Stützpunkte zu der ganzen Grundfläche bei mehreren Gebäuden angeführt worden ist. Man hat sie nach ihrer Dauerhaftigkeit geordnet und mit denen den Anfang gemacht, welche die stärksten Mauern und Stützpunkte im Verhältniß zur Grundfläche haben.

Die erste und zweite Spalte enthalten die ganzen Grundflächen in Quadratmetern- und Toisen. Die dritte und vierte die Grundflächen der Mauern und Stützpunkte ebenfalls in Quadratmetern- und Toisen. In der fünften Spalte hat man in Decimalbruchform das Verhältniß der Grundflächen der Mauern und Widerlager zu den ganzen Grundflächen ausgedrückt, indem man jede dieser letztern sich in **1000** gleiche Theile getheilt dachte.

Tabelle, welche bei verschiedenen Gebäuden die Verhältnisse der Grundflächen der Mauern und Widerlager zu den — von den Gebäuden besetzten ganzen Flächen enthalten.

Namen der Gebäude.	Ganze Flächen in		Grundflächen der Widerlager in		Tausendtel der ganzen Fläche
	Meter	Toisen	Meter	Toisen	
Der Dom der Invaliden zu Paris	2695,4	709 1/2	724,0	190 1/2	0,268
Die St. Peterskirche zu Rom	21103,1	5553 4/9	5511,0	1450 1/2	0,261
Das Pantheon zu Rom	3182,0	837 7/18	739,2	194 1/4	0,232
Antiker Tempel zu Rom, genannt Galluzzo	855,6	225 1/6	201,4	53,0	0,226
Entwurf der Peterskirche zu Rom von Bramante	19843,0	5222,0	4354,8	1146,0	0,216
Die St. Sophienkirche zu Konstantinopel	9591,1	2524,0	2097,3	552,0	0,217
Die Kirche Santa-Maria de fiori zu Florenz	7881,2	2074,0	1582,7	416 1/2	0,201
Der Concordia-Tempel zu Girgenti auf Sicilien	636,6	167 1/2	123,6	32 1/2	0,194
Mittelgebäude der Bäder des Caracalla	25604,4	6798,0	4499,2	1184,0	0,176
Großer Tempel zu Pestum	1426,9	375 1/2	24,6	64 3/4	0,172
St. Paulskirche zu London	7809,0	2055,0	1330,0	350,0	0,170
Mittelgebäude der Bäder des Diocletian	32680,0	8600,0	5464,4	1438,0	0,167
Tempel der Juno Lucina zu Girgenti	634,0	166 3/4	103,2	27 1/6	0,163
Hauptkirche zu Mailand	11696,4	3078,0	1985,6	522 1/4	0,161
Die St. Vitalkirche zu Ravenna	676,2	178,0	106,1	28,0	0,157
Die Kirche des heiligen Petrus in Vinculis zu Rom	2000,0	529 2/3	311,6	82,0	0,155
Die St. Genoveven-Kirche	5593,6	1472,0	861,4	226 3/4	0,154
Die Kirche des heiligen Sulpicius	5646,8	1486,0	848,2	223 1/5	0,151
Die Kirche des heiligen Dominikus zu Palermo	3173,2	835 1/18	463,6	122,0	0,146
Die Kirche Notre-Dame zu Paris	6258,6	1647,0	816,4	230 1/2	0,140
Die St. Josephs-Kirche zu Palermo	2420,6	637,0	335,6	88 1/3	0,139
Die Kirche von St. Philipp von Neri zu Neapel	2121,4	558 1/4	273,6	72,0	0,129
Der Friedenstempel zu Rom	6238,2	1665 1/3	796,7	209 2/3	0,125
Die Getreidehalle zu Paris ohne den Hof	2466,2	649,0	307,8	81,0	0,125
Die Kirche des heiligen Paulus vor den Mauern zu Rom	9899,0	2605,0	1176,1	309 1/2	0,112
Die Kirche der heiligen Sabina zu Rom	1407,0	378 1/4	143,4	37 3/4	0,100
Die Getreidehalle zu Paris mit dem überwölbten Hof	3660,4	963 2/7	307,8	81,0	0,084
Die Rotunde des heiligen Stephanus zu Rom	3413,2	898 2/9	190,6	50 1/6	0,056

Man erkennt aus der Zusammenstellung der obigen Tabelle, daß der Dom der Invaliden eins der gewölbten Gebäude ist, bei welchem man am meisten Material verbraucht hat. Man ersieht, daß seine Mauern und Widerlager, welche aus Hausteinen aufgeführt sind, mehr als $^1/_4$ der ganzen Grundfläche einnehmen, wogegen dieses bei der Sulpicius-Kirche, welche man gewiß nicht als eine leichte Bauart ansehen kann, weniger als $^1/_6$ beträgt.

Am Friedenstempel, dessen Mauerwerk aus Bruchsteinen — bekleidet mit Backsteinen — besteht, nehmen Mauern und Widerlager nur $^1/_8$ der ganzen Fläche ein. Da man dieses Verhältniß noch nicht als das äußerste in Bezug auf Festigkeit annehmen kann, so läßt sich jenes, wenn man die Widerlager gehörig anordnet, auf $^1/_9$ festsetzen; als mittleres Verhältniß kann man $^1/_7$ und als Verhältniß für die größte Festigkeit $^1/_5$ annehmen. Diese drei Verhältnisse sind für Gebäude von quadrat- oder rechteckförmiger Grundfläche. Bei solchen von kreisförmiger kann man jenes Verhältniß zwischen $^1/_9$ und $^1/_{12}$ setzen, da sie — wie Seite **128** u. d. f. bei der Rotunde des heil. Stephanus erklärt worden ist — einen Vortheil vor den nach gerader Linie aufgeführten Gebäuden gewähren.

In Betreff der nicht überwölbten Gebäude von derselben Gattung weiß man, daß das Verhältniß bei den alten griechischen Tempeln zwischen $^1/_5$ und $^1/_6$ beträgt, und bei den Basiliken zwischen $^1/_7$ und $^1/_{10}$. Man kann demnach als mittleres Verhältniß bei den Gebäuden von quadrat- oder rechteckförmiger Grundfläche $^1/_8$ nehmen, und $^1/_{12}$ bis $^1/_{18}$ bei den mit kreisförmiger, wie bei der Rotunde des heiligen Stephanus. —

Bei den Gebäuden von mehreren Stockwerken haben wir angeführt, daß:

1) bei den Palläſten zu Rom, wo alle Theile der Erdgeschosse gewöhnlich überwölbt sind, das Verhältniß der Mauern und Widerlager zu der von ihnen besetzten ganzen Grundfläche — nach Abzug der Oeffnungen für Thüren und Fenster — ungefähr beträgt . . . . . $^2/_9$ oder **0,222**;

2) bei den Palläſten zu Paris . . . . $^5/_{18}$ oder **0,278**;

3) bei den überwölbten Gebäuden der Ruinen der Stadt Adrienne . . . . . $^1/_7$ od. $^1/_8$ od. **0,155**;

4) bei den nicht überwölbten Gebäuden dieser Stadt . . . . . $^1/_8$ od $^1/_9$ od. **0,118**;

5) bei den Gebäuden mit Balkendecken, welche zu Ende der Regierung Ludwig's XIV. und zu Anfang der Ludwig's XV. erbaut wurden . . . . $^1/_6$ oder **0,166**;

6) bei den seit der Regierung Ludwig's XV. bis jetzt aufgeführten Gebäuden . . . . . $^1/_8$ oder **0,122**;

7) endlich bei den aus Backsteinen ausgeführten Gebäuden . . . . . $^2/_{17}$ oder **0,177**.

Aus dieser zweiten Zusammenstellung ersieht man, daß man bei den mehrstöckigen Gebäuden in Paris, deren Erdgeschosse überwölbt sind, bei gleicher Grundfläche weit mehr Material angewendet hat, als bei den großen Gebäuden von gleicher Art, wo jenes doch am meisten verschwendet worden ist, wie bei dem Dom der Invaliden.

Bei den Palläſten Rom's ist das Verhältniß der Mauern und Widerlager größer als bei den Bädern des Diocletian und Caracalla. An den Palläſten zu Paris, welche zu Ende der Regierung Ludwig's XIV. und zu Anfang derjenigen Ludwig's XV. erbaut worden sind, ist ebenfalls das Verhältniß der Widerlager größer als bei der Sulpicius-Kirche. An den seither aufgeführten Gebäuden hat das Verhältniß, welches mit der von uns aufgestellten Vorschrift übereinstimmt, beinahe gleiche Größe mit demjenigen der Widerlager der Getreidehalle, wenn man den Hof ausschließt. Endlich ist dieses Verhältniß bei den Gebäuden, welche gut aus Backsteinen aufgeführt sind, beinahe gleich dem für die einstöckigen Gebäude gefundenen. — Uebrigens ist folgende Bemerkung wichtig: die größere Grundfläche der Widerlager, welche man den mehrstöckigen Wohngebäuden giebt, ist nothwendig wegen der Erschütterungen, denen sie — besonders die mit Balkendecken — mehr ausgesetzt sind als die großen öffentlichen Gebäude.

Fünfte Abtheilung.

Verkleidungsmauern.

Erstes Kapitel.

Von dem Drucke des Erdreiches.

Es ist zu bemerken, daß die Erde von selbst eine Böschung annimmt, welche im Verhältniß zu ihrer Festigkeit steht. Um hierzu mit einigen Erfahrungen versehen zu seyn, ließen wir einen Kasten fertigen, dessen eine Seite weggenommen werden konnte, wenn er mit der zu untersuchenden Erde gefüllt war. Es ergab sich aus mehreren Versuchen, welche wir mit verschiedenen Erdarten anstellten, daß die beweglichste Erde der feine und sehr trockene Sand ist, oder der gepulverte Sandstein. Die Böschung, welche diese Erdart nach dem Wegnehmen der Steinplatte, durch welche die bewegliche Seite des Kastens gebildet wird, annimmt, macht einen Winkel von **55** $^1/_4$ Grad mit einer Vertikalebene, und einen von **34** $^1/_2$ Grad mit der Horizontalebene, auf welcher sich der Sand befindet. Gewöhnlich nimmt man an, daß die Erdböschung einen Winkel von **45** Grad bildet; es ist dies beinahe die mittlere Böschung, welche frisch aufgeworfene Erde annimmt.

Belidor theilt, um die Größe des Erddrucks gegen Terrassen- oder Bekleidungsmauern bei Fortifikationswerken zu bestimmen, in Figur **1**, Tafel **CLXXXXII**, das Dreieck **EDF**, welches die für Druck wirkende Erdmasse darstellt, durch Schnitte parallel mit **ED** und von gleicher Höhe, welche er wieder in Dreiecke getheilt denkt, die unter sich gleich und dem großen Dreieck ähnlich sind Indem man das erste Dreieck **aFb** als Einheit annimmt, ergiebt sich, daß der zweite

Schnitt deren **3**, der dritte deren **5**, der vierte deren **7** u. s. f. enthält, fortgehend in einer Reihe, deren Unterschied gleich **2** ist.

Jeden dieser Schnitte nimmt man als gleitend auf einer Ebene, welche parallel mit **ED** ist, und auf diese Art gegen **FD** wirkend an. Multiplicirt man sie mit der mittlern Höhe, auf welche sie wirken, so giebt die Summe dieser Produkte die Gesammtwirkung, welche die Mauer umzustürzen strebt. Da aber diese Summe gleich ist dem Produkt aus dem Inhalt des ganzen Dreiecks in die Höhe, welche sich durch die Linie ergiebt, die man aus dem Schwerpunkt parallel mit der Grundlinie zieht, so haben wir diese letztere Methode angewendet, weil sie viel weniger verwickelt und leichter ist, und weil überdieß Belidor, um seine Methode weniger schwierig zu machen, zu Annahmen seine Zuflucht nimmt, welche nicht völlig genau sind.

Erste Anwendung.

Der im Anfang dieses Kapitels angeführte Kasten hat **16** $^1/_2$ Zoll Länge, **12** Zoll Breite und **17** $^1/_2$ Zoll Höhe, im Lichten oder im Innern gemessen. Da die Böschung, welche der gepulverte Sandstein annimmt, wenn er nicht durch die Steinplatte vorn gehalten wird, mit der Horizontalen einen Winkel von **34** $^1/_2$ Grad bildet, so beträgt die Höhe **AE** (Figur **1**) **11** $^1/_3$ Zoll, so daß der gegen jene Steinplatte thätige Theil durch das Dreieck **EDF** dargestellt ist.

Um die Größe dieses Drucks und die Dicke der Steinplatte, welche demselben zu widerstehen hat, durch Rechnung zu finden, muß man zuerst den Inhalt des Dreiecks **EDF** $= \frac{16^1/_2 \cdot 11^1/_3}{2} = 93^1/_2$ suchen. Da aber das Gewicht jenes gepulverten Sandsteins bei gleichem Inhalt nur $^{13}/_{15}$ von dem Gewicht der dem Druck widerstehenden Sandsteinplatte ist, so verwandelt sich jener Inhalt in $93^1/_2 \cdot {}^{13}/_{15} = 81$. Diese Masse wird auf der Ebene **ED** gleitend angenommen, und ihr Druck verhält sich zu ihrem Gewichte = **AE** : **ED** = $11^1/_3 : 20$, woraus man für den Druck $= 81 \cdot \frac{11^1/_3}{20} = 45{,}9$ erhält. Man muß diesen Druck als eine schief wirkende Kraft **qr** ansehen, welche durch den Schwerpunkt der Masse geht und an einem Hebel **ik** wirkt. Um die Länge dieses Hebels zu erhalten, welcher von der Dicke der Steinplatte abhängt, die noch unbekannt ist, bemerke man, daß die Dreiecke **qsr**, **qho** und **kio** ähnlich sind und daß demnach

$qs \cdot sr = qh : ho$ iſt. Da $ko = hk - ho$ iſt, ſo hat man ferner $qr : qs = hk - ho : ik$, woraus man folgert

$$ik = \frac{(hk - ho) \cdot qs}{qr}.$$

Die drei Seiten des Dreiecks qsr ſind dadurch bekannt, daß der Winkel q im Schwerpunkt des großen Dreiecks EDF liegt, woraus nämlich folgt, daß jede Seite des kleinen Dreiecks der dritte Theil der mit ihr parallelen Seite des großen iſt.

Bezeichnet man demnach die Seite qr durch a,
" qs " b,
" rs " c,
das unbekannte sh " x,
" hk " f,
die Größe des Drucks 45,9 " p,
die Höhe der Steinplatte DF " d;

ſo hat man $b : c = b + x : \frac{bc + cx}{b}$ $(= ho)$, und $hk - ho = f - \frac{bc + cx}{b}$.

Um nun ik zu erhalten, bilde man die Proportion $a : b = f - \frac{bc + cx}{b} : ik$, woraus ſich ergiebt $ik = \frac{bf - bc - cx}{a}$, ſo daß alſo die Wirkung des Drucks gleich $p \cdot ik = p \frac{bf - bc - cx}{a}$ iſt. Dieſer Wirkung muß die Steinplatte, deren Widerſtandsfähigkeit $= \frac{dx^2}{2}$ iſt, das Gleichgewicht halten. Hieraus ergiebt ſich

$$\frac{dx^2}{2} = p \frac{bf - bc - cx}{a} \quad \text{oder}$$

$$x^2 + \frac{2pc}{ad} x = \frac{2p(bf - bc)}{ad}.$$

Um die Auflöſung zu erleichtern, ſetze man $\frac{2p(bf - bc)}{ad} = 2m$ und $\frac{2pc}{ad} = 2n$. Es iſt dann $x^2 + 2nx = 2m$, eine Gleichung vom zweiten Grad, deren Auflöſung giebt

$$x = -n + \sqrt{2m + n^2}.$$

Dies iſt die allgemeine Formel zur Auflöſung von Aufgaben obiger Art.

Setzen wir die Werthe der bekannten — durch Buchstaben ausgedrückten Größen, nämlich

$$a = 6^2/_3,$$
$$b = 5^1/_2,$$
$$c = 3^3/_4,$$
$$f = 7^5/_9,$$
$$p = 45{,}9,$$
$$d = 11^1/_3;$$

so wird $m = pb \cdot \frac{f-c}{ad} = 45{,}9 \cdot 5^1/_2 \cdot \frac{7^5/_9 - 3^3/_4}{6^2/_3 \cdot 11^1/_3}$, woraus man erhält $m = 12{,}70$ und $2m = 25{,}4$; ferner $n = \frac{pc}{ad} = \frac{45{,}9 \cdot 3{,}75}{75{,}55} = 2{,}28$ und $n^2 = 5{,}20$.

Demnach giebt die Formel $x = -n + \sqrt{2m + n^2} = -2{,}28 + \sqrt{25{,}4 + 5{,}20} = -2{,}28 + \sqrt{30{,}6}$ und endlich $x = 5{,}50 - 2{,}28 = 3{,}22$.

Dieses Resultat stimmt möglichst mit der Erfahrung überein, denn man bedurfte für den angenommenen Fall eine Steinplatte von $3^3/_4$ Zoll Dicke, damit sie dem Druck des gepulverten Sandsteins widerstand, welcher eine Platte von 3 Zoll Dicke umwarf.

Nach der Methode Belidor's hätte man 4,8 Zoll gefunden; aber wir haben schon bemerkt, daß bei derselben die Lehrsätze nicht gehörig angewendet worden sind.

Zweite Anwendung.

Wenn derselbe Kasten mit gepulvertem Sandstein angefüllt ist, so bedarf die Platte, um dem Erddruck zu widerstehen, eine Dicke von $5^1/_4$ Zoll.

Um die vorstehende Formel auf dieses Beispiel anzuwenden, muß man zuerst den Inhalt des Trapezes BEDF, Figur 2, suchen. Dieser Inhalt, den man gleich $195^1/_4$ findet, muß mit $^{13}/_{15}$ multiplicirt werden, wodurch man den gepulverten Sandstein auf einerlei specifisches Gewicht mit der Steinplatte bringt; man erhält $169^1/_5$. Nimmt man diese Masse als gleitend auf der geneigten Ebene ED an, so ist ihr Druck in der Richtung parallel mit dieser Ebene gleich $169^1/_5 \cdot \frac{11^1/_3}{20} = 95{,}76$, welches durch p bezeichnet ist.

Bezeichnet man ferner auch hier

qs durch b = 6,93,
sr „ c = 4,76,
qr „ a = 8,40,
hk „ f = 11,30,
DF „ d = 17,50;

so kann man nun sh = x, die Dicke der Steinplatte, finden. Es ist

$m = pb \cdot \frac{f - c}{ad}$, und man erhält, indem man die Werthe setzt,

$m = 95{,}76 \cdot 6{,}93 \cdot \frac{11{,}3 - 4{,}76}{8{,}40 \cdot 17{,}5} = 29{,}52$, folglich $2m = 59{,}04$.

Für $n = \frac{pc}{ad}$ erhält man $n = \frac{95{,}76 \cdot 4{,}76}{8{,}40 \cdot 17{,}50} = 3{,}1$, folglich $n^2 = 9{,}61$.

Setzt man diese Werthe in die Formel $x = -n + \sqrt{2m + n^2}$, so wird $x = -3{,}1 + \sqrt{59{,}04 + 9{,}61} = -3{,}1 + \sqrt{68{,}65} = 8{,}3 - 3{,}1$, also endlich $x = 5{,}2$ erhalten.

Man sieht, daß auch das Resultat dieser zweiten Anwendung mit der Erfahrung übereinstimmt. Dies ist ein neuer Beweis für den Vortheil, welchen die Verbindung theoretischer Lehrsätze mit der Erfahrung gewähren kann.

Dritte Anwendung.

Füllt man denselben Kasten mit gewöhnlicher — aber sehr trockner und gepulverter Erde, so bildet diese eine Böschung von 46 Grad 50 Minuten. Der Inhalt des für Druck wirkenden Theils ist gleich $144\,^3/_8$ Zoll. Da aber das Gewicht dieser Erde bei gleichem Inhalt nur $^3/_4$ des Gewichts der widerstehenden Steinplatte ist, so verwandelt sich jenes in 108 Zoll. Der Druck dieser Masse — in der geneigten Richtung qr wirkend — verhält sich zu ihrem Gewicht wie AB : BD, Figur 3, also gleich wie $17\,^1/_2$: 24, woraus man jenen Druck gleich $78\,^3/_4$ erhält.

Da der drückende Theil in diesem Falle ein Dreieck BDF ähnlich dem kleinen qrs ist, so haben die Seiten einerlei Verhältniß zu einander; und da die eine Spitze von diesem mit dem Schwerpunkt des großen Dreiecks zusammen fällt, wie es auch bei der ersten Anwendung der Fall war, so ist jede Seite dieses kleinen Dreiecks der dritte Theil der gleichliegenden Seite des großen.

Behalten wir die früheren Bezeichnungen bei, so ist

$$qr = a = 8,$$
$$qs = b = 5\,1/2,$$
$$sr = c = 5\,5/6,$$
$$sD = f = 10\,2/3,$$

die Größe des Drucks $= p = 78\,3/4,$

die Höhe der Steinplatte $= d = 17\,1/2.$

Nach diesen gegebenen Größen findet man, nach der Formel $m = pb \cdot \frac{f - c}{ad}$, $m = 78{,}75 \cdot 5{,}5 \cdot \frac{10{,}66 - 5{,}83}{8 \cdot 17\,1/2} = 18{,}04$ und $2m = 36{,}08$.

Aus der Formel $n = \frac{pc}{ad}$ ergiebt sich $n = \frac{78{,}75 \cdot 5{,}83}{8 \cdot 17\,1/2} = 3{,}2$ und $n^2 = 10{,}24$. Setzt man diese Werthe in die Formel $x = -n \sqrt{2m + n^2}$, so erhält man $x = -3{,}2 + \sqrt{36{,}08 + 10{,}24} = 3{,}6$ Zoll.

Es ist zu bemerken, daß die Erfahrung nur **3** Zoll ergab, weil sich diese Erde nicht so leicht verschiebt, wie der trockene und feine Sand. Auch die Resultate aller andern Versuche, welche mit verschiedenen Erdarten angestellt wurden, zeigten sich immer geringer als die der Rechnung. Die etwas feuchte Erde verschiebt sich noch weniger. Die geringste Neigung der von diesen verschiedenen Erdarten gebildeten Böschungen war **46** Grad **50** Minuten und die größte gleich **54** Grad. Es ist also die mittlere Neigung gleich **50** Grad, statt **45** Grad, welche man bis jetzt immer zur Grundlage der Rechnung über den Erddruck angenommen hat. Diese letztere Neigung mußte Resultate geben, welche viel größer waren, als sie der Druck erforderte — besonders, wenn man die Vorsicht hatte, die Erde längs der Bekleidung zu stampfen und durch Faschinenlagen, welche das Rutschen der Erde verhinderten, noch mehr zu binden. Außerdem sind die Mauern auf ihrer Grundfläche nicht beweglich, wie es zur Erleichterung der Anwendung der theoretischen Lehrsätze angenommen wurde.

Es ist ferner zu bemerken, daß man bei größerer Genauigkeit von dem drückenden Theil die Schichte **EtDV** weglassen müßte. Die Wirkung derselben würde schon durch das kleine Dreieck **DVk**, wenn dasselbe von derselben Erdart wäre, aufgehoben, — um so mehr durch ein schwereres Mauerstück, welches sich an seiner Stelle befindet. Aber diese Weglassung würde die Auflösung jener Aufgabe weit schwieriger

machen, weil die Dicke dieser Schichte von der Dicke **Dk** abhängt, welche erst gesucht werden muß.

Da indessen die Dauerhaftigkeit erfordert, daß die Widerstandsfähigkeit der Mauern größer sey als der Erddruck, so kann man jene Hypothese annehmen, welche den doppelten Vortheil gewährt, dieses Resultat hervorzubringen und das Rechnungsverfahren einfacher und leichter zu machen.

Vierte Anwendung.

Bildet die Erde eine Böschung von **45** Grad, Figur **3**, so ist $qs = sr = b = c = \frac{d}{3}$ und $f = \frac{2d}{3}$, woraus man, statt $m = pb \cdot \frac{f - c}{ad}$, nun erhält $m = \frac{pd}{3} \cdot \frac{2d - d}{3ad} = \frac{2pd^2 - pd^2}{9ad} = \frac{pd}{9a}$. Statt $n = \frac{pc}{ad}$ erhält man nun $n = \frac{pd}{3ad} = \frac{p}{3a}$.

Der Inhalt des gleichschenklichen Dreiecks **BDF**, von welchem der Druck herkommt, ist gleich $16\,^1/_2 \cdot 8\,^1/_4 = 136$, woraus $^3/_4 \cdot 136 = 102$. Dieses zeigt das Gewicht des drückenden Theils an, der sich zu dem Druck gleich wie **10 : 7** verhält, woraus dieser $= 71{,}4 = p$ folgt. Der Werth von $a = 7\,^7/_9$.

Diesen Werthen gemäß hat man

$$m = \frac{71{,}4 \cdot 16{,}5}{7\,^7/_9 \cdot 9} = \frac{1178{,}1}{70} = 16{,}83, \text{ und } n = \frac{71{,}4}{7\,^7/_9 \cdot 3} = 3{,}06,$$

woraus folgt $n^2 = 9{,}36$. Diese Werthe in die Formel $x = -n + \sqrt{2m + n^2}$ gesetzt, so erhält man $x = -3{,}06 + \sqrt{33{,}66 \cdot 9{,}36} = 6{,}57 - 3{,}06$ und endlich $x = 3{,}51$ Zoll oder nahe **3** Zoll **6** Linien.

Macht man die Voraussetzung, daß der Erdschub bei einem Winkel von **45** Grad stattfindet, so kann man eine Formel finden, nach welcher nur die Höhe der zu stützenden Erde bekannt seyn muß. Wir nehmen zu dem Ende die Gleichung $x = -n + \sqrt{2m + n^2}$ wieder auf, in der — wie wir gesehen haben —

$$m = \frac{pd}{9a} \text{ und } n = \frac{p}{3a} \text{ ist.}$$

Um diese Ausdrücke in andere zu verwandeln, welche nur die durch **d** ausgedrückte Höhe enthalten, so erinnere man sich, daß der Inhalt des Erdprofils **BFD**, durch welches der Druck verursacht wird,

$= d \cdot \frac{d}{2} = \frac{d^2}{2}$ ist. Nimmt man hiervon $^3/_4$, damit das Gewicht dem des stützenden Mauerwerks entspricht, so hat man $\frac{d^2}{2} \cdot {}^3/_4 = \frac{3d^2}{8}$.

Da diese Masse auf einer — unter **45** Grad geneigten Ebene wirkt, so verhält sich ihr Druck zu ihrem Gewicht wie die Höhe der Ebene **AB** zu ihrer Länge **BD**, gleich wie die Seite des Quadrats zu dessen Diagonale, welches sehr nahe $= 70 : 99$ ist. Man hat demnach für den Druck die Formel

$$\frac{3d^2}{8} \cdot \frac{70}{99} = p.$$

Hieraus folgt $pd = \frac{3d^3}{8} \cdot {}^{70}/_{99}$. Da dieses durch **9a** dividirt werden muß, so ist zu bemerken, daß $a = {}^1/_3$ der Diagonale **BD** ist. Man hat zu dem Ende $70 : 99 = d : \frac{99 \cdot d}{70}$. Dieses ist gleich **3a**, folglich $9a = \frac{3d \cdot 99}{70}$ Hiraus ergiebt sich endlich

$$m = \frac{3d^3 \cdot 70 \cdot 70}{8 \cdot 3d \cdot 99 \cdot 99} = \frac{3d^3 \cdot 4900}{24d \cdot 9880},$$

welches sich verwandelt in $m = \frac{d^2}{16}$ und $2m = \frac{d^2}{8}$.

Aus $n = \frac{p}{3d}$ erhält man $n = \frac{3d^2 \cdot 70 \cdot 70}{8d \cdot 99 \cdot 99}$, welches sich in $n = \frac{3d}{16}$ verwandelt.

Aus diesen Werthen für m und n erhält man endlich

$$x = -\frac{3d}{16} + \sqrt{\frac{dd}{8} + \frac{3d}{16} \cdot \frac{3d}{16}} = d \cdot \frac{-3 + \sqrt{41}}{16} = 0{,}213d.$$

Macht man von dieser Formel auf das vorstehende Beispiel Anwendung, so hat man

$$x = 16^1/_2 \cdot \frac{-3 + \sqrt{41}}{16} = 0{,}213 \cdot 16^1/_2,$$

woraus $x = 3{,}51$, wie aus der vorhergegangenen Formel folgt. Dieser letztern Formel, welche viel einfacher ist, habe ich mich bedient, die am Ende dieses Artikels angehängten Tabellen zu berechnen. —

Wollte man statt einer senkrechten Mauer eine geneigte aufführen, welche gleiche Widerstandsfähigkeit hätte, so müßte man ihr Profil,

Figur 5 und 6, als aus einem Rechteck DFHI und aus einem Dreieck HIK gebildet betrachten. Da die Böschung durch eine Annahme bestimmt seyn kann, so ist ihre Anlage IK bekannt, und es ist nur noch DI, die Grundlinie des Rechtecks, zu finden. Man setze hiernach

die Höhe der Mauer . . . = d,
die Anlage der Böschung . . = a,
die Grundlinie des Rechtecks . = x.

Da die Richtung des Schwerpunktes von dem Rechteck in die Mitte der Grundlinie DI trifft, so ist der Hebelsarm desselben in Bezug auf den Drehpunkt $K = a + \frac{x}{2}$, und der des Dreiecks, welches die Böschung bildet, ist $^2/_3$ IK. Man hat demnach den Widerstand dieser Mauer $= dx \cdot \left(a + \frac{x}{2}\right) + \frac{da}{2} \cdot \frac{2a}{3}$, welcher dem Widerstand der senkrechten Mauer, den wir mit R bezeichnen wollen, gleich seyn muß. Also

$$adx + \frac{dx^2}{2} + \frac{a^2 d}{3} = R.$$

Dividirt man beide Seiten durch d und multiplicirt sie mit 2, damit x^2 befreit steht, so erhält man $x^2 + 2ax = \frac{2R}{d} - \frac{2a^2}{3}$. Addirt man auf jeder Seite das Quadrat von a, um aus der linken die Quadratwurzel ausziehen zu können, und zeigt man sie auf der rechten Seite an, so wird die Gleichung $x + a = \sqrt{\frac{2R}{d} - \frac{2a^2}{3} + a^2}$.

Daraus ergiebt sich

$$x = -a + \sqrt{\frac{2R}{d} - \frac{2a^2}{3} + a^2} = -a + \sqrt{\frac{2R}{d} + \frac{a^2}{3}}.$$

Bezeichnet man nun die Dicke einer senkrechten Mauer mit e, welches aus der vorhergegangenen Formel $-n + \sqrt{2m + n^2}$ gefunden wird, so ist der Widerstand R der senkrechten Mauer $= ed \cdot \frac{e}{2} = \frac{e^2 d}{2}$. Hieraus ergiebt sich $2R = e^2 d$ und $\frac{2R}{d} = e^2$. Setzt man dieses in die vorstehende Formel statt $\frac{2R}{d}$, so erhält man

$$x = -a + \sqrt{e^2 + \frac{a^2}{3}}.$$

Die in vorhergegangenen Beispielen berechnete und jetzt mit e bezeichnete Dicke ist gleich **3,51**, also ihr Quadrat = **12,3201.** Nimmt man die Anlage der Böschung zu $^1/_6$ der Höhe an, also $a = \frac{16\,^1/_2}{6} = \mathbf{2,75}$, so ist $a^2 = \mathbf{7,5625}$. Setzt man diese Werthe in die vorstehende Formel, so hat man

$$x = -\,2{,}75 + \sqrt{12{,}32 + \frac{7{,}5625}{3}}.$$

Nach ausgeführter Rechnung findet man $x = 1{,}1$. Wenn man also diesem Profil $^1/_6$ der Höhe zur Anlage und oben eine Dicke von **1,1** Fuß oder **1** Fuß **1** Zoll $2^2/_5$ Linien giebt, so ist sein Inhalt $40^5/_6$ Fuß und seine Widerstandsfähigkeit gleich der eines rechteckigen Profils oder einer senkrechten Mauer, welche eine Dicke von **3,51** Fuß und deren Profil den Inhalt gleich **57,91** Fuß hat. Dieser Inhalt ist viel größer als bei der geböschten Mauer. — Diese Rechnung, welche durch Theorie und Erfahrung gerechtfertigt ist, beweiset den Vortheil der geböschten Mauern vor den senkrechten — wenn von Bekleidungsmauern die Rede ist — sowohl in Bezug auf Dauerhaftigkeit als auf Ersparniß. —

Da man den Profilen der Mauern, welche zur Stützung der Erde dienen, verschiedene Formen geben kann, so wollen wir die Widerstandsfähigkeit der am meisten gebräuchlichen Profile bei einerlei Inhalt mit einander vergleichen.

Um die obere Dicke einer geböschten Mauer zu finden, deren Profil mit dem einer senkrechten Mauer gleichen Inhalt hat, muß man — nach Festsetzung der Böschung — den Inhalt des sich hiernach ergebenden Dreiecks von dem gegebenen Inhalte des rechtwinklichen Profils abziehen und diesen Rest durch die Höhe dividiren. Wir nehmen hier das rechtwinkliche Profil, welches in der vierten Anwendung vorkommt, das also zur Höhe = **16**$^1/_2$ Fuß, zur Dicke = **3,51** Fuß hat und dessen Inhalt = **57,91** Fuß ist. Nimmt man die Anlage der Böschung zu $^1/_6$ der Höhe, so ist der Inhalt des Dreiecks = **22** $^{11}/_{16}$ Fuß. Zieht man diesen von dem gegebenen **57,91** ab, und dividirt man den hierdurch erhaltenen Rest **35,225** durch die Höhe **16** $^1/_2$, so erhält man die obere Dicke **FH**, Figur **5**, = **2,135** Fuß = **2** Fuß **1** Zoll **5** Linien, statt **1** Fuß **1** Zoll **5** Linien, welches aus dem Profil, Figur **6**, erhalten wird. Jene größere Dicke gewährt einen größeren

Widerſtand, der gleich iſt dem Produkt aus dem Inhalt des Rechtecks **FHDI**, Figur **5**, und dem Hebelsarm **KL**, und hierzu addirt das Produkt aus dem Inhalt des Dreiecks **HIK** und $\frac{2 \,.\, IK}{3}$. Alſo **35,225** . **3,817** = **134** $^1/_2$, hierzu addirt **22** $^{11}/_{16}$. $\frac{2\,^3/_4 \,.\, 2}{3}$ = **41** $^{19}/_{32}$, folglich im Ganzen gleich **176** $^3/_{32}$. Der Widerſtand der ſenkrechten Mauer, Figur **4**, welche mit jener einerlei Profilinhalt hat, iſt gleich dem Produkt des Rechtecks **FDHK** und der Hälfte von **DK**, alſo = **57,61** . $\frac{3,51}{2}$ = **101,64**. Demnach iſt der Widerſtand einer geböſchten Mauer, deren Böſchung $^1/_6$ der Höhe zur Anlage hat, **1** $^3/_4$ mal ſo groß als der einer ſenkrechten Mauer, welche mit jener einerlei Profilinhalt hat; oder der Widerſtand von jener verhält ſich zu dem Widerſtande von dieſer nahe wie **7 : 4**. Hierbei hat man keine Rückſicht genommen auf die Verminderung des Erddrucks, welche durch die Weglaſſung der Erdſchichte **mnDV** entſteht, die in Figur **5** eine größere Dicke als in Figur **4** hat.

Die Figur **7** zeigt ein Mauerprofil, das eine Art von Böſchung nach der Erdſeite hat und nach außen ſenkrecht iſt. Die Böſchung iſt durch Schichten gebildet, von denen die obere gegen die untere eingerückt iſt. Hierdurch entſteht ein größerer Widerſtand, weil die Erde auf dieſen Stufen Lager findet und dadurch ihr Druck gegen die Mauer vermindert wird. Ungeachtet dieſer vortheilhaften Einrichtung iſt es auch ohne Rechnung leicht einzuſehen, daß der Widerſtand dieſes Profils nicht ſo groß iſt, als wenn ſich die Böſchung nach außen befindet, denn hier hat jetzt der kleinere Theil, d. i. das Dreieck **FDI** den größeren Hebelsarm **KL**, und das Rechteck **FIHK** hat den kleinern **KM**. Da Böſchung und Höhe die nämlichen wie im vorigen Beiſpiel ſind, ſo iſt das Produkt aus dem Inhalt des Dreiecks und ſeinem Hebelsarm = **22** $^{11}/_{16}$. **3** $^1/_{20}$, und daher für daſſelbe

der Widerſtand	**69,2**,
und der des Rechtecks = **35,225** . **1,07**	**37,6**,
	106,8,

ſtatt **101,64** aus dem rechtwinklichen Profil, Figur **4**, und ſtatt **176** $^3/_{32}$, welches das Profil **5** gab, deſſen Böſchung ſich nach außen befand.

Das Profil, Figur 8, hat eine doppelte Böschung. Die innere — nach der Erdseite hin — hat $^1/_6$ der Höhe zur Anlage, und die äußere $^1/_{12}$, so daß der Widerstand dieses Profils besteht:

1) aus dem innern Dreieck **FID** mal seinem Hebelsarm **CK**, also **22,69 . 3,73 = ... 84,63**
2) aus dem Rechteck **FIHN** mal seinem Hebelsarm **MK**, also **23,72 . 1,59 = ... 37,71**
3) aus dem äußern Dreieck **HNK** mal seinem Hebelsarm **NK**, also **11,35 . 0,916 = ... 10,39**

in Summe **132,73.**

Das Profil, Figur **9**, welches nach außen eine Böschung hat von $^1/_{12}$ der Höhe zur Anlage und nach innen einen Ueberhang von derselben Anlage, leistet einen Widerstand, der gleich ist dem Produkt aus seinem Inhalt **FDHK** in seinen Hebelsarm **LK**. Dieser ist gleich der halben Mauerdicke und addirt die halbe Anlage; also der Widerstand = **57,75 . 2,47 = 142,64.** Ist die Anlage $^1/_6$ der Höhe, so ist der Widerstand = **57,75 . 3,125 = 180,46.**

Die Größen des Widerstandes der Profile in den Figuren **4, 7, 8, 5** und **9** sind **101,64, 106,14, 132,73, 176,09, 142,64, 180,46.**

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die Mauern, deren äußere Fläche senkrecht und deren Profil ein Rechteck ist, am wenigsten geeignet sind, dem Erddruck Widerstand zu leisten, und daß die Mauern, deren Profil ein Trapez ist, mehr widerstehen, — besonders diejenigen, deren äußere Fläche eine Böschung und deren innere senkrecht ist, wie Figur **5.**

Die Mauern, deren Profil ein schiefes Parallelogramm ist, Fig. **9**, leisten noch mehr Widerstand; aber der Perpendikel aus dem Schwerpunkt darf nicht außerhalb der Grundfläche eintreffen, selbst nicht über $^3/_4$ derselben hinaus. Berücksichtigt man die Dauerhaftigkeit der Mauer, so muß man das Profil, Figur **5**, welches nach außen geböscht und nach der Erdseite senkrecht ist, vorziehen. — In Betreff der Zurüstung und Constructionsweise bei diesen Mauern verweisen wir auf Dasjenige, was im **2.** Kapitel des **3.** Buchs im **2.** Band auf Seite **21** bis **25** gesagt worden ist.

Von den Strebepfeilern.

Es ist auch in demselben soeben angeführten Kapitel, Seite **21** bis **25**, von jenen — den Bekleidungsmauern beigefügten Verstärkungen

im Verhältniß zu ihrer Dicke und Construction die Rede gewesen. Hier sollen sie in Bezug auf die größte Widerstandsfähigkeit betrachtet werden, welche sie den Mauern, mit denen sie verbunden sind, verschaffen.

Wir hatten schon bei den Profilen, Figur **5**, **6**, **7** und **8**, welche sich in mehrere Theile zerlegen ließen, Gelegenheit zu bemerken, daß ihr Widerstand größer war, wenn die größten Massen den größten Hebelsarmen entsprachen, d. i. je weiter der aus dem Schwerpunkt gefällte Perpendikel von dem Stützpunkt eintrifft, um welchen der Erddruck die Masse zu drehen strebt. Ebenso ist es mit den Strebepfeilern. Sie widerstehen mehr, wenn sie an der äußern Fläche angebracht sind, als wenn dieses nach der Erdseite hin der Fall ist. Denn in dem ersten Fall gehört die Mauer, welche immer die größte Masse ausmacht, zu dem größten Hebelsarm. Hieraus kann man schließen, daß die Widerstandsfähigkeit der Mauern oft von ihrer Gestalt und der Anordnung ihrer Theile abhängt.

Es sey **BDEF**, Figur **10**, das Profil einer Bekleidungsmauer von **16**$^1/_2$ Fuß Höhe und **2**$^1/_2$ Fuß Dicke, mit welcher man Strebepfeiler von **2**$^1/_2$ Fuß Breite und gleicher Höhe in Verbindung bringen will, um die Dicke zu ergänzen, welche nach vorstehender Berechnung **3,51** Fuß seyn müßte, damit die Mauer dem Erddruck widerstehen könnte. — Wir wollen zuerst annehmen, die Strebepfeiler sollen nach innen angebracht werden, wie es bei den Bekleidungsmauern der Festungen der Fall ist.

Es ist klar, daß — wenn man die Widerstandsfähigkeit einer Mauer in Verbindung mit ihren Strebepfeilern sucht — man einen Theil betrachten muß, der sich von der Mitte des einen Strebepfeilers zu der des andern erstreckt, oder — was zu demselben Resultat führt — den Theil der Mauer zwischen zwei Strebepfeilern, und einen von diesen mit dazu gehörigem Mauerstück, wie **ESGH** und **ADBCES**, Figur **11**. Nach dieser Voraussetzung bezeichne man die Höhe **EF**, Figur **10**, welche der Mauer und dem Pfeiler gemeinschaftlich ist,

durch . . . . . **d**;

die Länge der Mauer zwischen zwei Pfeilern ist gleich der halben Höhe, also . . . . . $\frac{d}{2}$;

die Dicke der Mauer, der Breite der Strebepfeiler gleich gesetzt, sey . . . . . **e**;

die Tiefe oder der Vorsprung der Pfeiler wird gesucht, also x;
der Hebelsarm der Mauer in Bezug auf den Drehpunkt
K, in dem Profil durch IK dargestellt, ist . . . . $\frac{e}{2}$;
der Hebelsarm KL, welcher zum Strebepfeiler und seinem
Mauerstück gehört, ist . . . . . $\frac{x+e}{2}$.

Nach diesen Bezeichnungen ist nun der Inhalt des Mauertheils zwischen den Strebepfeilern $d \cdot \frac{d}{2} \cdot e = \frac{d^2 e}{2}$. Da der Hebelsarm desselben $\frac{e}{2}$ ist, so hat man die Widerstandsfähigkeit gleich $\frac{d^2 e}{2} \cdot \frac{e}{2} = \frac{d^2 e^2}{4}$. Der Inhalt des Strebepfeilers und des anliegenden Mauerstücks ist $(e + x) \cdot d \cdot e = de^2 + dex$, und da der Hebelsarm hiervon $\frac{e+x}{2}$ ist, so wird die Widerstandsfähigkeit ausgedrückt durch $(de^2 + dex) \frac{e+x}{2} = \frac{de^3 + 2de^2x + dex^2}{2}$. Bezeichnet man nun mit R den Erddruck, welchen Mauer und Strebepfeiler auszuhalten haben, so erhält man die Gleichung

$$\frac{d^2 e^2}{4} + \frac{de^3 + 2de^2x + dex^2}{2} = R.$$

Bringt man hierin die mit x multiplicirten Glieder auf die eine Seite und die übrigen auf die andere, so erhält man

$$\frac{dex^2 + 2de^2x}{2} = R - \frac{de^3}{2} - \frac{d^2 e^2}{4}.$$

Beide Seiten mit 2 multiplicirt und durch de dividirt, um x^2 zu befreien, giebt $x^2 + 2ex = \frac{2R}{de} - e^2 - \frac{de}{2}$. Addirt man auf beiden Seiten das Quadrat von e, um die Quadratwurzel auf der linken Seite ausziehen zu können, so hat man

$$x^2 + 2ex + e^2 = \frac{2R}{de} - \frac{de}{2}.$$

Nach Ausziehung der Quadratwurzel entsteht

$$x + e = \sqrt{\frac{2R}{de} - \frac{de}{2}}, \text{ folglich } x = -e + \sqrt{\frac{2R}{de} - \frac{de}{2}}.$$

Da diese Mauer mit ihren Strebepfeilern denselben Widerstand leisten soll wie die senkrechte, deren Dicke wir in der vierten Anwendung zu **3,51** Fuß gefunden haben, so ist also **R** gleich der Widerstandsfähigkeit dieser Mauer zu setzen. Man muß, um diese zu finden, die Rechnung für eine Mauerlänge anstellen, welche gleich der jener Mauer mit einem Strebepfeiler ist. Diese Länge beträgt $8^1/_4 + 2^1/_2 = 10^3/_4 = 10{,}75$ Fuß. Man erhält nun den Inhalt $= 10{,}75 \cdot 16{,}5 \cdot 3{,}51 = 622{,}59$ Fuß, und die Widerstandsfähigkeit $R = 622{,}59 \cdot 1{,}755 = 1092{,}64$. Setzt man diesen Werth und die andern bekannten in die letztere Gleichung, so erhält man

$$x = -2{,}5 + \sqrt{\frac{2185{,}28}{41{,}25} - \frac{41{,}25}{2}},$$ woraus sich nach ausgeführter Rechnung ergiebt $x = 3{,}188$.

Die Tiefe der nach innen angebrachten Pfeiler muß also $=$ **3,188** Fuß oder **3** Fuß **2** Zoll **3** Linien seyn, damit die Mauer nebst ihren Strebepfeilern mit dem Erddruck im Gleichgewicht ist.

Anwendung, zur Prüfung dienend.

Der Inhalt des Mauertheils zwischen zwei Strebepfeilern ist $16{,}5 \cdot 8{,}25 \cdot 2{,}5 = 340{,}312$, der Hebelsarm in Bezug auf den Drehpunkt **K** ist **1,25**, und die Widerstandsfähigkeit demnach **425,390**.

Der Inhalt des Strebepfeilers mit Einschluß des daran stoßenden Mauerstücks ist $(3{,}188 + 2{,}5) \cdot 2{,}5 \cdot 16{,}5 = 234{,}63$, der Hebelsarm gleich $\frac{3{,}188 + 2{,}5}{2} = 2{,}844$,

folglich die Widerstandsfähigkeit $= 234{,}65 \cdot 2{,}844 =$ **667,287**

Im Ganzen **1092,677,**

statt **1092,64**, welches wir oben für **R** als den Widerstand einer senkrechten Mauer von gleicher Länge gefunden hatten. Dieser kleine Unterschied von **0,03** Fuß kommt daher, daß **x** etwas kleiner als **3,188** seyn müßte. Aber da **3,188** näher ist als **3,187**, so haben wir jenes angenommen, welches noch nicht um **0,001** abweicht. —

Sind die Strebepfeiler nach außen angebracht, wie in Figur **12** und **13**, so ist der Hebelsarm der Mauer zwischen den Strebepfeilern gleich $x + \frac{e}{2}$. Da der Inhalt wie in dem vorhergehenden Beispiel $= \frac{d^2 e}{2}$ ist, so hat man die Widerstandsfähigkeit gleich $\frac{d^2 ex}{2} + \frac{d^2 e^2}{4}$.

Der Inhalt des Strebepfeilers nebst dem zugehörigen Mauerstück ist wie im Vorhergehenden $= de^2 + dex$ und seine Widerstandsfähigkeit $= \frac{de^3 + 2de^2x + dex^2}{2}$. Aus der Addition dieser und jener entsteht die Gleichung

$$\frac{d^2ex}{2} + \frac{d^2e^2}{4} + \frac{de^3 + 2de^2x + dex^2}{2} = R.$$

Wenn man hierin die mit x behafteten Glieder ordnet und die übrigen auf die andere Seite der Gleichung bringt, so erhält man

$$\frac{dex^2 + d^2ex + 2de^2x}{2} = R - \frac{de^3}{2} - \frac{d^2e^2}{4}.$$

Ferner mit 2 multiplicirt und durch de dividitt, giebt dann

$$x^2 + dx + 2ex = \frac{2R}{de} - e^2 - \frac{de}{2}.$$

Setzt man hier nun $d + 2e$, den Coefficienten von x, $= 2n$, so wird die Gleichung

$$x^2 + 2nx = \frac{2R}{de} - e^2 - \frac{de}{2}.$$

Addirt man endlich n^2 auf beiden Seiten, um auf der linken Seite die Quadratwurzel ausziehen zu können, so giebt dieses $x^2 + 2nx + n^2 = \frac{2R}{de} - e^2 - \frac{de}{2} + n^2$, und zieht man die Quadratwurzel aus, so folgt $x + n = \sqrt{\frac{2R}{de} - e^2 - \frac{de}{2} + n^2}$, woraus sich endlich ergiebt

$$x = -n + \sqrt{\frac{2R}{de} - e^2 - \frac{de}{2} + n^2}.$$

Setzt man in diese Formel die Werthe, so erhält man

$$x = -10{,}75 + \sqrt{\frac{2185{,}28}{16{,}5 \cdot 2{,}5} - 2{,}5^2 - \frac{16{,}5 \cdot 2{,}5}{2} + 10{,}75^2}.$$

Nach ausgeführter Rechnung giebt dieses für $x = 1{,}153$ Fuß = 1 Fuß 1 Zoll 10 Linien, statt 3 Fuß 2 Zoll 3 Linien, welches wir bei den nach innen angebrachten Strebepfeilern für ihren Vorsprung gefunden hatten. Dieses beweis't, wie vortheilhaft es ist, die Strebepfeiler — statt nach innen — nach außen zu setzen, weil diese fast nur den dritten Theil des Vorsprungs von jenen nöthig haben.

Anwendung, zur Prüfung dienend.

Der Inhalt des Mauertheils zwischen den Strebepfeilern sey wie in dem vorhergehenden Beispiel = **340,312**, so ist — da der Hebelsarm = **2,403** — die Widerstandsfähigkeit desselben **340,312**

. **2,403** = ... **817,769.**

Der Inhalt des Strebepfeilers = (**2,5 + 1,153**) . **2,5**

. **16,5** = **150,686**, der Hebelsarm = $\frac{2{,}5 + 1{,}153}{2}$ und

die Widerstandsfähigkeit = **150,686** . $\frac{2{,}5 + 1{,}153}{2}$ = . **275,152.**

In Summe **1092,921.**

Diese unterscheidet sich von dem vorhergehenden Resultat nur um ungefähr **4** Zoll. —

Um die Vergleichung vollständig zu machen, wollen wir untersuchen, wie groß die Anlage der Böschung seyn müßte, durch welche man die Strebepfeiler ersetzte. Da die Böschungsmauern — wie die senkrechten — überall dasselbe Profil haben, so hat man blos dieses zu betrachten und nimmt es zu **1** Fuß Dicke an. Ebenso habe die senkrechte Mauer, mit der man vrrgleichen will, **16,5** Fuß Höhe und **3,51** Fuß Dicke, woraus der Inhalt = **16,5** . **3,51** = **57,915**. Indem man diesen mit $\frac{3{,}51}{2}$, dem Hebelsarm, multiplicirt, erhält man **101,64**, den Ausdruck für ihre Widerstandsfähigkeit, welche wir mit **R** bezeichnen wollen. Wir drücken ferner allgemein — wie im Vorhergehenden — die Höhe der Mauer durch **d**, ihre Dicke oben, zu $2^1/_2$ Fuß angenommen, durch **e** aus, und der Inhalt des bekannten Rechtecks **FHDI**, Figur **14**, ist alsdann gleich **de**. Da sein Hebelsarm = $x + \frac{e}{2}$ ist, so hat man nun den Ausdruck für seine Widerstandsfähigkeit gleich

$$\left(x + \frac{e}{2}\right) de = dex + \frac{de^2}{2}.$$

Der Inhalt des Dreiecks, welches die Böschung bilden soll, ist gleich $\frac{dx}{2}$, sein Hebelsarm gleich $\frac{2x}{3}$, folglich seine Widerstandsfähigkeit gleich $\frac{2dx^2}{6} = \frac{dx^2}{3}$. Aus der Vereinigung dieses und des vorigen Ausdrucks erhält man die Gleichung $\frac{dx^2}{3} + dex + \frac{de^2}{2} = R$.

Setzt man $3e = 2n$ und verfährt man wie bei den vorhergehenden Beispielen, so hat man

$$x = -n + \sqrt{\frac{3R}{d} + \frac{n^2}{3}}.$$

In dieser Gleichung ist $n = \frac{3e}{2} = \frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 2}$ $^{15}/_{4} = 3{,}75$, ferner $n^2 = 3{,}75^2 = 14{,}06$, und $\frac{3R}{d} = \frac{3 \cdot 101{,}64}{16{,}5} = 18{,}48$. Setzt man diese Werthe in jene Gleichung, so ist $x = -3{,}75 + \sqrt{18{,}48 + 4{,}69}$ $= -3{,}75 + 4{,}82 = 1{,}07$ Fuß, also 1 Fuß 10 Linien für die Anlage der Böschung, welches etwas mehr als $^1/_{16}$ der Mauerhöhe ist.

Zweites Kapitel.

Von den Profilen der Bekleidungsmauern.

Vergleichung der vier Arten von Bekleidungsmauern bei gleicher Höhe und bei gleichem Widerstand.

Bei der zunächst im Vorhergehenden angestellten Rechnung in Bezug auf die Figuren **10** und **11** nahmen wir eine gleiche Länge von **10 3/4** Fuß, d. i. die Breite eines Strebepfeilers und des zwischenliegenden Mauertheils. Nehmen wir dieselbe Länge auch bei der senkrechten und geböschten Mauer an, so können wir nun die folgende Rechnung und Vergleichung anstellen.

In der vierten — vorhergehend erklärten Anwendung fanden wir, daß zur Unterstützung einer Erdhöhe von **16 1/2** Fuß die senkrechte Mauer eine Dicke von **3,51** Fuß bedürfe. Daraus ergiebt sich bei **10 3/4** Fuß Länge der Inhalt gleich **622,58** Kubikfuß.

Wir haben vorhergehend (Seite **204**) gefunden, daß man bei einer Mauer von **2 1/2** Fuß Dicke nach innen Strebepfeiler von gleicher Breite und **3,188** Fuß Vorsprung anbringen müsse, um dieselbe Widerstandsfähigkeit wie bei der vorhergehenden Mauer zu erhalten. Wir fanden dort ferner, daß das Mauerstück zwischen den Strebepfeilern den Inhalt gleich **340,312** Fuß habe, und ein Strebepfeiler mit angränzender Mauer den gleich **234,63**, woraus sich für die Länge von **10 3/4** Fuß der Gesammtinhalt gleich **574,942** Kubikfuß ergiebt.

Daselbst ergab sich auch, daß beim Anbringen der Strebepfeiler nach außen für diese ein Vorsprung von **1,53** Fuß hinreicht, um der Mauer von der Dicke gleich **2 1/2** Fuß dieselbe Widerstandsfähigkeit zu geben wie der senkrechten Mauer. Der Strebepfeiler mit zugehörigem Mauerstück hat dann den Inhalt gleich **150,686** und der zwischen-

liegende Mauertheil wie vorhin gleich **340,312**, woraus sich nun bei der Länge von **10¾** Fuß ergiebt gleich **490,998** Kubikfuß.

Bei der Mauer mit einfacher Böschung ist der Inhalt des Theils vom Profil, welcher ein Rechteck ist, gleich **16,5 . 2,5 = 41,25**, und der Inhalt des durch die Böschung gebildeten Dreiecks gleich **8,58**; folglich der Inhalt des ganzen Profils gleich **49,83**. Dieses Profil, mit **10¾** multiplicirt, giebt den Kubikinhalt gleich **535,672** Kubikfuß.

Aus der vorstehenden Rechnung geht hervor, daß die Inhalte dieser vier Mauergattungen, gleiche Länge und Höhe vorausgesetzt, sich verhalten wie **622½ : 575 : 491 : 535⅔**. Verhielten sich nun die Kosten wie diese Inhalte, so kostete die senkrechte Mauer am meisten und die mit den Strebepfeilern nach außen am wenigsten. Da aber bei dieser Art von Arbeiten nicht immer die größte Quantität auch die meisten Kosten verursacht, sondern eine größere äußere Fläche und aus- und eingehende Winkel, welche bei den Strebepfeilern vorkommen, jene nicht wenig erhöhen; so kann man sagen: daß bei gleichem Inhalt die Mauern mit Strebepfeilern die kostspieligsten sind, und daß sie die meiste Sorgfalt erfordern, damit die Strebepfeiler mit der Mauer gehörig verbunden sind.

Ueberdieß muß man, damit die Strebepfeiler auf eine dauerhafte Weise gebaut sind, darauf sehen, daß sie auf einem Fundament ruhen, welches zusammenhängend und breit genug ist, die Pfeiler darauf zu setzen. Hierdurch vermeidet man die ungleiche Senkung sowohl des Grundes als des Baues. Diese ist — wie wir schon gesagt haben — das Gefährlichste, welchem man zu begegnen hat. Es ist fast immer die geringe Sorgfalt für den Mauerbau und ihre Fundamentirung, in welcher man die Ursache des Verderbs des größten Theils der Bekleidungsmauern eher suchen muß, als in der mangelnden Dicke. Wenn der Stützpunkt, welcher am meisten zu tragen hat, auch nur ein wenig mehr Senkung erhält, so reißt er die Mauer nach sich, und diese erhält eine Neigung nach außen ungeachtet der Strebepfeiler. Bei den senkrechten Mauern ist dieses um so bemerkbarer, je höher sie sind im Verhältniß zu ihrer Grundfläche, so daß **1** Zoll Ungleichheit der Senkung ein Ueberhängen von mehr als **1** Fuß zur Folge hat.

Die geböschten Mauern gewähren den doppelten Vortheil, daß sie weniger kostspielig sind und der nachtheiligen Wirkung der ungleichen Senkung begegnen, indem

bei ihnen der Schwerpunkt so weit von dem Stützpunkt entfernt ist, daß durch die größte Ungleichheit der Senkung die Böschung nur vermindert, aber kein Ueberhängen verursacht werden kann. Diese Betrachtung muß uns veranlassen, die geböschten Mauern den senkrechten mit Strebepfeilern vorzuziehen — sowohl in Bezug auf Dauer, als auf Ersparniß und leichte Ausführung.

Von der Form der Strebepfeiler.

Man giebt den Strebepfeilern verschiedene Formen, durch welche sie mehr oder weniger zum Stützen der Mauern, mit denen sie verbunden sind, geeignet werden. Diejenigen mit Rechtecksgrundfläche, wie sie die Figuren **11** und **13** zeigen, sind die gebräuchlichsten und auch fast immer die angemessensten.

Die Strebepfeiler, welche zur Grundfläche ein Trapez haben, wie Figur **17** und **19**, und an der Mauer breiter sind als auf der entgegengesetzten Seite — nach der Art Vauban's — bilden, im Innern angebracht, eine mehr dauerhafte Construction. Aber man findet durch Rechnung, daß sie weniger Widerstand leisten als die Strebepfeiler mit Rechtecksgrundfläche, denn der Schwerpunkt ist in jenem Falle dem Stützpunkt näher. Dieses findet jedoch nur bei der Voraussetzung statt, daß jene Strebepfeiler und ihre Bekleidungsmauer nicht mit dem Fundament, auf welchem sie errichtet sind, zusammenhängen. Indessen bilden bei gut ausgeführten Bauten jene Theile einen fest zusammenhängenden Körper und können nur, ehe ein Umwerfen stattfindet, durch einen Bruch von einander getrennt werden.

Belidor schlägt vor, den Grundflächen der Strebepfeiler eine entgegengesetzte Lage zu geben, nämlich auf die Art, wie es in Figur **16** gezeichnet ist, so daß also die Breite an der Mauer geringer ist als nach hinten. Diese Anordnung, wodurch freilich der Schwerpunkt vom Stützpunkt entfernt wird, führt aber eher herbei, daß sich die Strebepfeiler von der Mauer bei der geringsten unregelmäßigen Senkung oder Bewegung losreißen; denn die schwalbenschwanzförmigen Theile, welche in der Erde stecken, können nicht der Bewegung der Mauer folgen, wenn sie sich setzt.

Figur **20** zeigt, wie die Römer verfuhren, um die Bekleidungsmauern zu verstärken und um nach innen hohle Räume anzubringen, wie man es an mehreren Mauern von antiken Unterbauten und an

dem Mauerwerk des Pöcile der Stadt Adrienne — von welchem auf Seite 71 die Rede war — und an dem Pantheon zu Rom sieht. Hierdurch erlangt man den Vortheil der größten Dauer und des stärksten Widerstandes bei gleichem Körperinhalt, und verbindet damit ein mehr gefälliges Aeußere, als es die gewöhnlichen Strebepfeiler gewähren. Diese Anordnung ist vorzüglicher als die Bogenstellungen, welche von einigen Ingenieuren zur Verbindung der Strebepfeiler vorgeschlagen worden sind; denn nach ihr sind alle Theile gleich gut befestigt, sowohl in horizontaler als vertikaler Richtung, und man findet keine eingehenden Winkel. Uebrigens sind diese Hülfsmittel, nämlich die Strebepfeiler, Bogenstellungen, Gewölbe oder Nischen, immer kostspieliger als eine einfache Mauer, und man darf daher nur Gebrauch von ihnen machen, wenn man durch besondere Umstände oder Beweggründe dazu genöthigt ist.

In Betreff des von Vitruv vorgeschlagenen Hülfsmittels, welches in Figur 3 auf Tafel CLXVI dargestellt ist, bedarf man nicht der Rechnung, um einzusehen, daß es weit stärker ist als der größte Druck, welchen Erde im ungünstigsten Fall hervorbringen kann. Die Gewichts- und Inhaltsvermehrung, welche bei der mit Wasser durchdrungenen Erde entsteht, ist niemals so bedeutend, daß man dieses außerordentliche Hülfsmittel nöthig hat. Man weiß sogar aus Beobachtungen und Erfahrungen, welche man darüber angestellt hat, daß die feucht gewordene oder von Wasser durchdrungene Erde weniger verschiebbar ist als die trockene, so daß also der Druck in größerem Verhältniß vermindert wird, als sich das Gewicht vermehrt.

Was die Aufschwellung betrifft, welche durch Feuchtigkeit oder Wasser entstehen kann, so ist dieselbe — da sie nach allen Richtungen stattfindet und beschränkt ist — nie so bedeutend, um ein gefährliches Neigen zu verursachen.

Es ist hier nicht wie bei einem befeuchteten Tau oder Holzkeil, wovon das erstere im Stande ist, eine sehr große — an dem Tau aufgehängte Last zu heben, und der andere, einen Marmor- oder Granitblock zu spalten.

Da die Erde preßbar ist, so geht die Anschwellung eher nach oben, wo sie keinen Widerstand erfährt, als zur Seite. Sie wirkt übrigens nicht fortwährend wie der Druck, und wenn sie den erreichbaren Grad erlangt hat, hört ihre Wirkung auf, welche im höchsten Grade — wie

wir schon angeführt haben — nie im Stande ist, eine in die Sinne fallende Neigung hervorzubringen.

Nachtheiliger ist die Wirkung, welche daraus entsteht, wenn Wasser in die Mauer dringt und die Verbindung zerstört. Dieses Eindringen geschieht, wenn man nicht die Vorsicht hat, dem Wasser einen Abzug zu verschaffen. Es zerstört den Mörtel, welcher die Steine verbindet und die Mauern zu zusammenhängenden festen Massen bildet, und kann dadurch ihre Festigkeit so vermindern, daß ihr Zusammenstürzen unabhängig von dem Erddruck herbeigeführt wird, dessen fortdauernde Wirkung überdieß bald keinen Widerstand mehr findet.

Feuchtigkeit und Wasser, wenn sie keinen Abzug haben, können auf die Dauer selbst gewisse Steinarten zerlegen, welche man beim Aufbau der Mauer gebraucht haben konnte.

Man muß zur Vermeidung dieser Uebelstände in schicklichen Entfernungen enge Oeffnungen, Abzugslöcher, anbringen, damit das Wasser, welches die Erde durchdringt, Abfluß erhält; oder man leitet es auf irgend eine Art nach außen.

Wenn man von den Abzugslöchern Gebrauch macht, so müssen sie sich bis zum Fuß der Bekleidungsmauern herunterziehen, und die Ausfüllung dahinter ist besser von Gries oder Kieselsteinen als von Erde.

Ich habe auf diese Art eine Terrassen-Mauer, welche mehrmals, durch Wasser verdorben, zusammengestürzt war, wieder hergestellt. Die Dicke der Mauer, welche eine **22** Fuß hohe Erdwand stützt, beträgt unten **4** Fuß, und ist oben, da sie eine Böschung von der Anlage $^1/_{12}$ hat, gleich **26** Zoll. Diese Mauer — seit **30** Jahren gebaut — ist noch in dem möglichst guten Zustande. —

Es bleibt uns noch übrig, die Wirkung zu untersuchen, welche auf die Bekleidungsmauern durch die Erschütterung der hinter oder auf ihnen aufgestellten feuernden Geschütze oder durch eine andere heftige Erschütterung hervorgebracht wird. Es ist gewiß, daß diese Wirkung, welche beträchtliche Massen zu erschüttern im Stande ist, weit größer wäre als diejenige, durch welche man die festesten Wälle zerstört, wenn sie sich nicht zugleich auf drückende und widerstehende Theile äußerte, so daß eine Reaction entsteht, wodurch diese Wirkung gemäßigt wird. Die Bekleidungsmauer muß jedoch immer stark genug seyn, um während der Erschütterung ein gewisses Uebergewicht über den Erddruck zu behaupten, und dieses muß um so größer seyn, als sich der Erddruck

durch die Erschütterung in weit größerem Verhältniß als der Widerstand der Mauer vermehrt.

Vauban, welcher an dreihundert befestigten Plätzen Veränderungen vornehmen und drei und dreißig neue bauen ließ, hatte gefunden:[1]) »daß die alten Ingenieure nicht in Uebereinstimmung waren über die Abmessungen, welche man den Bekleidungsmauern geben mußte; daß die Einen ihnen eine außerordentliche Dicke gaben, und die Andere kaum eine solche, damit sie dem Erddruck widerstehen konnten. Er hat ein Profil angegeben, welches allen Höhen der Wälle mit ihren Brustwehren — von **10** bis **80** Fuß — angepaßt werden kann.«

In diesem durch Figur **20** dargestellten Profil, welches das Ergebniß der Erfahrung und Beobachtung zu seyn scheint, welche er bei den außerordentlich zahlreichen Arbeiten dieser Art, sowohl bei der Herstellung als bei der Ausführung, zu machen Gelegenheit hatte, — sieht man, daß die Dicke oben dieselbe ist, welche Höhe die Bekleidungsmauer auch haben mag. Es scheint, Vauban hat dafür gehalten, daß diese Mauern eine gewisse Festigkeit haben müßten, welche unabhängig ist von dem Widerstand, welcher dem Erddruck entgegengesetzt werden muß. Deßwegen mag er diese Dicke — unabhängig von der Höhe — zu **5** Fuß festgesetzt und der Mauer eine Böschung von $^1/_5$ der Höhe zur Anlage gegeben haben. Hierzu fügte er Strebepfeiler (Figur **19**), welche von Mitte zu Mitte **18** Fuß entfernt sind und an der Mauer eine größere Breite haben als hinten. — Die Abmessungen dieser Strebepfeiler stehen mit der Höhe der Bekleidungsmauer im Verhältniß. Bei **10** Fuß giebt er ihnen nämlich **4** Fuß Vorsprung, bei **80** Fuß Höhe gleich **18** Fuß, so daß für **10** Fuß Höhe mehr der Vorsprung um **2** Fuß vermehrt wird. In Betreff ihrer Breite haben sie an der Mauer $^1/_3$ mehr als hinten. Bei **10** Fuß Höhe ist sie nämlich an der Mauer **3** Fuß und hinten **2** Fuß. Die Breite an der Mauer vermehrt sich um **1** Fuß für jede **10** Fuß weiter in der Höhe, so daß für **80** Fuß Höhe diese Breite an der Mauer **10** Fuß beträgt; hinten ist sie dann **6** Fuß **8** Zoll.

Belidor, welcher eine Erklärung dieses Profils giebt, hat bei Anwendung seiner Methode gefunden, daß der Widerstand dieses Profils um so geringer wird, je mehr die Höhe desselben zunimmt. Wenn

---

1) Bélidor, Science des Ingénieurs, livre Ier., page. 67.

die Höhen sind	**10,**	**20,**	**30,**	**40,**	**50,**	**60,**
so findet er den Erddruck	**15,**	**41,**	**75,**	**117,**	**170,**	**233,**
und den Widerstand des Profils . .	**28,**	**51,**	**82,**	**124,**	**176,**	**237.**

Er würde daraus schließen, daß bei **10** Fuß Höhe der Widerstand beinahe doppelt so groß als der Erddruck, aber bei **60** Fuß Höhe mit diesem Erddruck im Gleichgewicht wäre, was nicht hinreichte.

Er wägt unterdessen nicht, dieses Profil für so fehlerhaft zu halten, daß man es nicht anwenden könne, weil doch die Erfahrung seine Brauchbarkeit beweise. Er verlangt bloß, daß man den niedrigen Bekleidungsmauern oben weniger als **5** Fuß Dicke gebe, und den höhern — d. i. denen über **25** Fuß — eine größere Dicke. —

Die folgende Tabelle enthält eine Vergleichung zwischen dem Profil Vauban's und der Methode Belidor's. Sie ist aus einer Tabelle gezogen, welche sich im **3.** Buch der Ingenieurwissenschaft von Belidor, auf Seite **78**, befindet.

Die Tabelle hat eilf Spalten. Die erste enthält die verschiedenen Höhen der Bekleidungsmauern oder der zu stützenden Erde. Die zweite und dritte enthalten die Dicke oben und unten nach Vauban; die vierte und fünfte diese Dicke nach der Methode Belidor's.

Die drei folgenden Spalten zeigen die bei Vauban und Belidor gleichen Abmessungen der Strebepfeiler.

Die neunte Spalte enthält den Erddruck in Fuß und berechnet nach der Anweisung in diesem Werk.

In der zehnten Spalte findet man den Widerstand der Profile Vauban's, und in der eilften den der Profile Belidor's.

I.

Tabelle für die obere und untere Dicke der Bekleidungsmauern und ihrer Strebepfeiler, welche man 18 Fuß von Mitte zu Mitte entfernt annimmt, und ihre Widerstandsfähigkeit im Vergleich mit dem Erddruck.

Höhe der Mauern.	Bei 1/5 Böschungsanlage nach Vauban Dicke		Bei 1/5 Böschungsanlage nach Belidor Dicke		Abmessungen der Strebepfeiler für beide Arten			Erddruck	Widerstandsfähigkeit des Profils von Vauban	Widerstandsfähigkeit des Profils von Belidor
	oben	unten	oben	unten	Vorsprg.	a. d. M.	hinten			
	Fuß	F. Z.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z.	F. Z.	F. Z.			
10	5	7. 0	3. 5. 4	5. 5. 4	4. 0	3. 0	2. 0	76,15	287,59	182,19
15	5	8. 0	4. 1. 4	7. 1. 4	5. 0	3. 6	2. 4	180,62	582,01	472,95
20	5	9. 0	4. 8. 8	8. 8. 8	6. 0	4. 0	2. 8	352,72	1018,88	953,20
25	5	10. 0	5. 2. 0	10. 2. 0	7. 0	4. 6	3. 0	608,95	1629,50	1677,55
30	5	11. 0	5. 5. 9	11. 5. 9	8. 0	5. 0	3. 4	969,47	2453,55	2632,16
35	5	12. 0	5. 8. 3	12. 8. 3	9. 0	5. 6	3. 8	1445,00	3543,42	3893,20
40	5	13. 0	5. 10. 7	13. 10. 7	10. 0	6. 0	4. 0	2054,10	4916,33	5488,45
45	5	14. 0	6. 0. 6	15. 0. 6	11. 0	6. 6	4. 4	2819,61	6593,00	7489,00
50	5	15. 0	6. 1. 8	16. 1. 8	12. 0	7. 0	4. 8	3752,62	8797,21	9905,29
55	5	16. 0	6. 2. 9	17. 2. 9	13. 0	7. 6	5. 0	4876,37	11061,60	12489,30
60	5	17. 0	6. 3. 4	18. 3 4	14 0	8. 0	5. 4	6193,78	14551,48	16301,30
65	5	18. 0	6. 4. 6	19. 4. 6	15. 0	8. 6	5. 8	7739,09	18446,72	20559,00
70	5	19. 0	6. 5. 7	20. 5. 7	16. 0	9. 0	6. 0	9576,01	22699,51	25404,40
75	5	20. 0	6. 6. 6	21. 6. 6	17. 0	9. 6	6. 4	11560,00	27851,50	31116,57
80	5	21. 0	6. 7. 4	22. 7. 4	18. 0	10. 0	6. 8	13862,00	33826,60	37711,25

Da der Hebelsarm, an welchem der Druck wirkt, von der untern Dicke der ihm widerstehenden Mauer abhängt, so mußten wir, um die Wirkung des Erddrucks in der neunten Spalte der vorigen Tabelle zu berechnen, Gebrauch von der Formel

$$x = -\frac{3d}{16} + \sqrt{\frac{d^2}{8} + \frac{3d}{16} \cdot \frac{3d}{16}} = 0{,}213\,d$$

(auf Seite 197) machen. Man findet durch dieselbe die Dicke einer senkrechten Mauer, deren Widerstandsfähigkeit mit dem Erddruck im Gleichgewicht ist. Dieses Verfahren schien uns am wenigsten zusammengesetzt und am leichtesten. — Dieses Gleichgewicht ist ausgedrückt durch $p\,\frac{bf - bc - cx}{a} - \frac{cx}{2} = \frac{dx^2}{2}$ (Seite 192), wovon die linke Seite das Produkt aus dem Erddruck und seinem Hebelsarm ist und die rechte Seite die Widerstandsfähigkeit der Mauer, welche jenem das Gleichgewicht hält. In dieser Seite ist d die Höhe der Mauer oder vielmehr diejenige der zu stützenden Erde.

Kennt man nun mittelst der Formel $x = 0{,}213d$ den Werth von x, so erhält man den des Erddrucks, welcher gleich $\frac{dx^2}{2}$ ist, indem man das Quadrat jenes Werthes mit der Hälfte der Höhe der zu stützenden Erde, d. i. mit $\frac{d}{2}$, multiplicirt.

Man findet den Druck eines mit Mauer bekleideten Walles sehr nahe gleich dem Widerstand einer senkrechten Mauer, deren Höhe 5 Fuß mehr beträgt als die zwischen dem obern Theil des Mauerkordons und dem Fuß der Bekleidung. Will man demnach den Erddruck gegen eine Bekleidung von 35 Fuß Höhe wissen, so muß man den Widerstand einer senkrechten Mauer von 40 Fuß Höhe suchen. Setzt man diese Höhe statt d, so erhält man

$$x = 0{,}213 \,.\, 40 = 8^1/_2.$$

Für $\frac{dx^2}{2}$, welches die Wirkung des Erddrucks ist, erhält man nun

$\frac{40 \,.\, 8^1/_2 \,.\, 8^1/_2}{2} = 1445$. Ebenso verfährt man in den andern Fällen.

Will man die Widerstandsfähigkeit der Profile finden, welche in den beiden letzten Spalten vorkommen, so betrachte man jedes Profil als einen Schnitt von 1 Fuß Dicke, der aus zwei Theilen besteht, —

einem Dreieck, das die Böschung bildet, und einem Rechteck, das zur Breite die obere Mauerdicke hat. Man multiplicirt dann den Inhalt eines jeden Theils mit dem zugehörigen Hebelsarm, oder der Entfernung der Richtung des Schwerpunktes von dem Drehpunkt. Da die Strebepfeiler mit ihrer Mitte **18** Fuß von einander entfernt sind, so nimmt man — nachdem der Inhalt eines Strebepfeilers mit seinem Hebelsarm multiplicirt worden ist — den **18.** Theil von diesem Produkt, und addirt dieses zu jenen beiden Produkten.

Bei einer Bekleidungsmauer von **40** Fuß Höhe nach dem Profil von Vauban, wo die Anlage der Böschung $^1/_5$ beträgt, ist der Inhalt des Dreiecks dieser Böschung $= \frac{40 \cdot 8}{2} = 160$; und da der Hebelsarm $^2/_3$ der Grundlinie ist, so hat man den Widerstand des Dreiecks $= 160 \cdot {}^2/_3 \cdot 8 = 853\,{}^1/_3$.

Der Inhalt des Rechtecks, welches den andern Theil der Mauer bildet, ist gleich $40 \cdot 5 = 200$; sein Hebelsarm ist gleich der Anlage der Böschung und der halben Breite des Rechtecks, also gleich $10\,{}^1/_2$ Fuß; folglich der Widerstand desselben gleich $160 \cdot 10\,{}^1/_2 = 2100$.

Da die Strebepfeiler **10** Fuß Vorsprung und an der Mauer **6** Fuß und hinten **4** Fuß Breite haben, so ist der Inhalt der Grundfläche gleich **50** Fuß. Diese mit der Höhe **40** Fuß multiplicirt, so erhält man den Inhalt des Strebepfeilers gleich **2000** Fuß. Sein Hebelsarm ist $17\,{}^1/_2$ Fuß, folglich sein Widerstand gleich $35333\,{}^1/_3$, und diesen durch **18** dividirt, so erhält man den auf **1** Fuß kommenden gleich **1963**. — Addirt man endlich die drei Resultate, so erhält man den gesammten Widerstand gleich $4916\,{}^1/_3$ oder **4916,33**, wie es in der Tabelle eingezeichnet ist. — Die übrigen Werthe sind auf ähnliche Weise gefunden worden.

Es ist zu bemerken, daß das Profil von Vauban bei einer Höhe von **10** Fuß einen fast **4** mal so großen Widerstand giebt, als der Druck ist, — dagegen ist er bei **80** Fuß Höhe nur $2\,{}^1/_2$ mal so groß.

Das Profil Belidor's gewährt bei **10** Fuß Höhe einen — nicht $2\,{}^1/_2$ mal so großen Widerstand, dagegen bei **80** Fuß Höhe einen fast $2\,{}^3/_4$ mal so großen.

Es darf demnach nicht überraschen, daß es Bekleidungsmauern giebt, weche in ihren Abmessungen weit unter dem Profile Vauban's sind, welches Belidor bei Futtermauern über **30** Fuß Höhe zu schwach findet. Dieses kommt von der Art her, wie Belidor den Erddruck

bestimmt, und woraus sich Resultate ergeben, welche weit größer sind, als man sie durch Erfahrung und richtige Anwendung der Lehrsätze der Mechanik findet.

Wenn die Hypothesen, auf welche Belidor sein Verfahren gründet, richtig wären, so würde eine Widerstandsfähigkeit von $^1/_4$ über dem Erddruck nicht hinreichend seyn, der Bekleidungsmauer den gehörigen Grad von Festigkeit zu geben. Nach Versuchen und Beobachtungen, welche ich über diesen Gegenstand angestellt habe, halte ich dafür, daß man der Bekleidungsmauer, damit sie allen — sich auf sie äußernden Wirkungen widerstehen kann, eine Widerstandsfähigkeit geben muß, welche doppelt so groß als der Erddruck ist. —

Die Ueberzeugung von der Nothwendigkeit dieses Verhältnisses hat mich veranlaßt, die drei folgenden Tabellen für $^1/_5$, $^1/_6$ und $^1/_8$ Böschungsanlage zu berechnen. Jede dieser Tabellen hat acht Spalten.

Die erste Spalte enthält die Höhe der zu stützenden Erde.

Die zweite Spalte giebt den aus dieser Höhe entspringenden Erddruck an.

Die dritte und vierte Spalte enthalten die Dicke der Mauer oben und unten.

Die fünfte und sechste Spalte geben die Abmessungen der Strebepfeiler an, welche ich mit rechteckförmiger Grundfläche voraussetze.

In der siebenten Spalte habe ich den Inhalt des Mauerwerks für jede Höhe angegeben, dabei aber die Theile desselben — nämlich Mauer, Böschung und Strebepfeiler unterschieden.

Die achte Spalte endlich begreift den Widerstand jedes dieser Theile und den Gesammtwiderstand derselben.

Bei Aufstellung dieser Tabellen, suchte ich zuvor die Dicke zu bestimmen, welche für eine hinreichende Festigkeit nöthig ist — unabhängig von dem Widerstand, welchen der Erddruck erfordert. Nach den Belehrungen, welche ich mir darüber verschafft habe, glaubte ich, dieselbe bei **10** Fuß Höhe zu **3** Fuß bei $^1/_5$ Böschungsanlage, zu **3** Fuß **6** Zoll bei $^1/_6$ und zu **4** Fuß bei $^1/_8$ Anlage annehmen zu dürfen. Ich vermehrte diese Dicke um **3** Zoll für jede **5** Fuß, um welche die Höhe zunahm.

Die untere Dicke der Mauer leitet sich nun aus der obern ab, indem man den **5.**, **6.** oder **8.** Theil der Höhe für die Anlage der Böschung addirt.

II.

Tabelle, welche die verschiedene Dicke enthält, die man oben und unten der geböschten Futtermauer eines Walles mit Brustwehr geben muß, — so wie auch die Abmessungen der Strebepfeiler, welche von Mitte zu Mitte 18 Fuß Entfernung haben, — so daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern das Doppelte des Erddrucks ist.

Die Anlage der Böschung gleich $^1/_5$.

Höhe der zu stützenden Erde.	Erddruck	Dicke der Mauern		Strebepfeiler		Inhalt			Widerstand		
		oben	unten	Vorsp.	Breite						
F.	Fuß	F.Z.	F. Z.	F. Z.	F.Z.L.		Fuß			Fuß	
						Mauer	30,00		Mauer	105,00	
10	76,15	3. 0	5. 0	3. 8	2. 6. 1	Bösch.	10,00	45,00	Bösch.	13,33	152,33
						Strpf.	5,00		Strpf.	34,00	
						Mauer	48,75		Mauer	225,40	
15	180,62	3. 3	6. 3	4. 4	3. 0. 0	Bösch.	22,50	85,25	Bösch.	45,50	361,68
						Strpf.	14,00		Strpf.	90,78	
						Mauer	70,00		Mauer	402,50	
20	35^2,72	3. 6	7. 6	5. 0	3. 6. 4	Bösch.	40,00	129,60	Bösch.	106,67	705,45
						Strpf.	19,60		Strpf.	196,28	
						Mauer	93,75		Mauer	644,53	
25	608,85	3. 9	8. 9	5. 8	4. 0. 0	Bösch.	62,50	187,75	Bösch.	208,33	1217,69
						Strpf.	31,50		Strpf.	364,83	
						Mauer	120,00		Mauer	960,00	
30	969,47	4. 0	10. 0	6. 4	4. 5. 6	Böfch.	90,00	257,05	Bösch.	360,00	1938,94
						Strpf.	47,05		Strpf.	618,94	
						Mauer	148,75		Mauer	1357,34	
35	1445,00	4. 3	11. 3	7. 0	4. 9. 6	Bösch.	122,50	336,47	Bösch.	571,67	2890,21
						Strpf.	65,22		Strpf.	961,20	
						Mauer	180,00		Mauer	1845,00	
40	2054,44	4. 6	12. 6	7. 8	5. 0. 9	Bösch.	160,00	426,31	Bösch.	853,33	4108,89
						Strpf.	86,31		Strpf.	1410,56	
						Mauer	213,00		Mauer	2431,39	
45	2819,61	4. 9	13. 9	8. 4	5. 4. 0	Bösch.	202,60	522,17	Bösch.	1215,00	5639,22
						Strpf.	106,67		Strpf.	1992,83	
						Mauer	250,00		Mauer	3125,00	
50	3751,62	5. 0	15. 0	9. 0	5. 6. 9	Bösch.	250,00	639,05	Bösch.	1666,67	7503,25
						Strpf.	139,05		Strpf.	2711,58	
						Mauer	288,75		Mauer	3933,23	
55	4876,37	5. 3	16. 3	9. 8	5. 9. 4	Bösch.	302,50	761,08	Bösch.	2218,33	9752,75
						Strpf.	169,83		Strpf.	3601,19	
						Mauer	330,00		Mauer	4867,50	
60	6193,78	5. 6	17. 6	10. 4	5. 11. 4	Bösch.	360,00	894,75	Bösch.	2880,00	12387,55
						Strpf.	204,75		Strpf.	4640,05	
						Mauer	373,75		Mauer	5933,25	
65	7739,09	5. 9	18. 9	11. 0	6. 1. 3	Bösch.	422,50	1038,71	Bösch.	3661,67	15478,18
						Strpf.	242,46		Strpf.	5883,26	
						Mauer	420,50		Mauer	7140,00	
70	9576,01	6. 0	20. 0	11. 8	6. 3. 3	Bösch.	490,00	1198,79	Bösch.	4573,33	19152,03
						Strpf.	288,29		Strpf.	7438,70	
						Mauer	468,75		Mauer	8496,00	
75	11560,00	6. 3	21. 3	12. 4	6. 4. 7	Bösch.	566,50	1363,21	Bösch.	5625,00	23120,00
						Strpf.	327,96		Strpf.	8999,00	
						Mauer	520,00		Mauer	10010,00	
80	13862,00	6. 6	22. 6	13. 0	6. 5. 11	Bösch.	640,00	1535,15	Bösch.	6826,67	27724,00
						Strpf.	375,15		Strpf.	10887,33	

III.

Tabelle, welche die verschiedene Dicke enthält, die man oben und unten der geböschten Futtermauer eines Walles mit Brustwehr geben muß, — so wie auch die Abmessungen der zugehörigen Strebepfeiler, welche von Mitte zu Mitte 18 Fuß Entfernung haben, — so daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern das Doppelte des Erddrucks ist.

Die Anlage der Böschung gleich $^1/_6$.

Höhe der zu stützenden Erde	Erddruck	Dicke der Mauern		Strebepfeiler		Inhalt			Widerstand		
		oben	unten	Vorsp.	Breite						
F.	Fuß	F. Z.	F. Z.	F. Z.	F. Z. L.		Fuß			Fuß	
						Mauer	35,00		Mauer	119,58	
10	76,15	3. 6	5 2	4. 0	1. 5. 8	Bösch.	8,33	46,58	Bösch.	9,27	152.31
						Strpf.	3,25		Strpf.	23,46	
						Mauer	46,75		Mauer	202,09	
15	180,62	3. 9	6. 3	4. 9	2. 9. 2	Bösch.	18,75	82,40	Bösch.	30,42	361,26
						Strpf.	14,90		Strpf.	128,75	
						Mauer	80,00		Mauer	426,67	
20	352,72	4. 0	7. 4	5. 6	3. 4, 0	Bösch.	33,39	133,72	Bösch.	74,08	705,47
						Strpf.	20,33		Strpf.	204,72	
						Mauer	106,25		Mauer	668,49	
25	608,85	4. 3	8. 5	6. 3	4. 0. 5	Bösch.	52,08	193,61	Bösch.	144,62	1217,80
						Strpf.	35,28		Strpf.	404,59	
						Mauer	135,00		Mauer	978,75	
30	969,47	4. 6	9. 6	7. 0	4. 8. 2	Bösch.	75,00	264,61	Bösch.	250,00	1938,94
						Strpf.	54,61		Strpf.	710,19	
						Mauer	166,25		Mauer	1364,63	
35	1445,00	4. 9	10. 7	7. 9	5. 2. 2	Bösch.	102,08	346,39	Bösch.	396,99	2890,20
						Strpf.	78,06		Strpf.	1128,58	
						Mauer	200,00		Mauer	1833,33	
40	2054,44	5. 0	11. 8	8. 6	5. 7. 2	Bösch.	133,33	439,10	Bösch.	592,59	4108,90
						Strpf.	105,77		Strpf.	1682,98	
						Mauer	236,25		Mauer	2392,03	
45	2819,61	5. 3	12. 9	9. 3	5.11. 9	Bösch.	168,75	543,27	Bösch.	843,75	5639,12
						Strpf.	138,27		Strpf.	2403,44	
						Mauer	275,00		Mauer	3047,92	
50	3751,62	5. 6	13.10	10. 0	6. 3. 7	Bösch.	208,33	660,02	Bösch.	1157,40	7533,23
						Strpf.	176,69		Strpf.	3327,91	
						Mauer	316,25		Mauer	3491,92	
55	4876,37	5. 9	14.11	10. 9	6 7. 0	Bösch.	252,08	801,00	Bösch.	1540,51	9752,76
						Strpf.	232,67		Strpf.	4720,33	
						Mauer	360,00		Mauer	4680,00	
60	6193,78	6. 0	16. 0	11. 6	6.10. 2	Bösch.	300,00	922,47	Bösch.	2000,00	12387,56
						Strpf.	262,47		Strpf.	5707,56	
						Mauer	406,25		Mauer	5670,57	
65	7739,09	6. 3	17. 1	12. 3	7. 0. 11	Bösch.	352,08	1071,05	Bösch.	2542,82	15478,17
						Strpf.	312,72		Strpf.	7264,78	
						Mauer	455,00		Mauer	6778,75	
70	9576,01	6. 6	18. 2	13. 0	7. 4. 6	Bösch.	408,33	1236,16	Bösch.	3175,92	19152,02
						Strpf.	372,83		Strpf.	9197,35	
						Mauer	506,25		Mauer	8036,75	
75	11560,00	6. 9	19. 3	13. 9	7. 5. 7	Bösch.	468,75	1402,69	Bösch.	3906,25	23120,00
						Strpf.	427,69		Strpf.	11177,00	
						Mauer	560,00		Mauer	9426,67	
80	13862,00	7. 0	20. 4	14. 6	7. 7. 6	Bösch.	533,33	1584,60	Bösch.	4739,90	27724,01
						Strpf.	491,27		Strpf.	13557,44	

IV.

Tabelle, welche die verschiedene Dicke enthält, die man oben und unten der geböschten Futtermauer eines Walles mit Brustwehr geben muß, — so wie auch die Abmessungen der zugehörigen Strebepfeiler, welche von Mitte zu Mitte 18 Fuß Entfernung haben, — so daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern das Doppelte des Erddrucks ist.

Die Anlage der Böschung gleich $^1/_8$.

Höhe der zu stützenden Erde.	Erddruck	Dicke der Mauern		Strebepfeiler		Inhalt		Widerstand	
		oben	unten	Vorsp.	Breite				
F.	Fuß	F.Z.	F.Z.L.	F.Z.	F.Z.L.	Fuß		Fuß	
10	76,15	4. 0	5.3.0	4. 0	0. 8.11	Mauer 40,00 Bösch. 6,25 Strpf. 1,63	47,88	Mauer 130,00 Bösch. 10,42 Strpf. 11,89	152,31
15	180,62	4. 3	6.1.6	5. 0	2. 5. 7	Mauer 63,75 Bösch. 14,06 Strpf. 10,27	88,08	Mauer 255,00 Bösch. 17,58 Strpf. 88,67	361,25
20	352,72	4. 6	7.0.0	6. 0	3. 6. 6	Mauer 90,00 Bösch. 25,00 Strpf. 23,61	138,61	Mauer 427,50 Bösch. 41,67 Strpf. 236,28	705,45
25	608,85	4. 9	7.10.6	7. 0	4. 4. 5	Mauer 118,75 Bösch. 39,06 Strpf. 39,13	196,94	Mauer 653,13 Bösch. 81,37 Strpf. 483,19	1217,69
30	969,47	5. 0	8.9 0	8. 0	5. 0. 9	Mauer 150,00 Bösch. 56,25 Strpf. 67,59	273,84	Mauer 937,50 Bösch. 140,62 Strpf. 860,81	1933,93
35	1445,00	5. 3	9.7 6	9. 0	5. 6. 4	Mauer 183,75 Bösch. 76,56 Strpf. 96,62	356,93	Mauer 1286,25 Bösch. 226,50 Strpf. 1377,44	2890,19
40	2054,44	5. 6	10.6.0	10. 0	6. 0. 1	Mauer 220,00 Bösch. 100,00 Strpf. 133,38	453,38	Mauer 1705,00 Bösch. 333,33 Strpf. 2070,57	4108,90
45	2819,61	5. 9	11.4.6	11. 0	6. 4. 8	Mauer 258,75 Bösch. 126,56 Strpf. 176,26	561,57	Mauer 2199,38 Bösch. 474,60 Strpf. 2965,21	5639,19
50	3751,62	6. 0	12.3.0	12. 0	6. 8. 5	Mauer 300,00 Bösch. 156,25 Strpf. 225,00	681,25	Mauer 2775,00 Bösch. 651,12 Strpf. 4077,13	7503,25
55	4876,37	6. 3	13.1.6	13. 0	6.11.11	Mauer 343,75 Bösch. 189,06 Strpf. 277,50	810,31	Mauer 3437,50 Bösch. 866,53 Strpf. 5448,69	9752,72
60	6193,78	6. 6	14.0.0	14. 0	7. 2. 6	Mauer 390,00 Bösch. 225,00 Strpf. 336,50	951,50	Mauer 4192,50 Bösch. 1125,00 Strpf. 7070,06	12387,56
65	7793,09	6. 9	14.106	15. 0	7. 4. 3	Mauer 438,75 Bösch. 264,06 Strpf. 398,34	1101,15	Mauer 5045,63 Bösch. 1429,12 Strpf. 8923,04	15397,79
70	9576,01	7. 0	15 9.0	16. 0	7. 8. 3	Mauer 490,00 Bösch. 306,25 Strpf. 478,33	1274,58	Mauer 6002,50 Bösch. 1786,46 Strpf. 11363,06	19152,02
75	11560,00	7. 3	16.7.6	17. 0	7. 9. 4	Mauer 543,75 Bösch. 351,56 Strpf. 550,92	1446,23	Mauer 7068,75 Bösch. 2197,26 Strpf. 13854,00	23120,01
80	13862,00	7. 6	17.6.0	81. 0	7.11. 1	Mauer 600,00 Bösch. 400,00 Strpf. 633,84	1633,84	Mauer 8250,00 Bösch. 2666,67 Strpf. 16807,33	27724,00

V.

Tabelle, welche die verſchiedene Dicke enthält, die man oben und unten einer geböſchten Futtermauer eines Walles mit Bruſtwehr geben muß, wobei keine Strebepfeiler ſind, — ſo daß die Widerſtandsfähigkeit der Mauer das Doppelte des Erddrucks iſt.

Höhe der zu ſtützenden Erde	Dicke der Mauern bei 1/5 Böſchungsanlage		Inhalt des Mauerwerks bei 1 Fuß Länge	Dicke der Mauern bei 1/8 Böſchungsanlage		Inhalt des Mauerwerks bei 1 Fuß Länge	Dicke der Mauern bei 1/8 Böſchungsanlage		Inhalt des Mauerwerks bei 1 Fuß Länge	Erddruck	Widerſtand
	oben	unten		oben	unten		oben	unten			
F.	F. Z. L.	F. Z. L.	Fuß	F. Z. L.	F. Z. L.	Fuß	F. Z. L.	F. Z. L.	Fuß	Fuß	Fuß
10	3. 7. 8	5. 7. 8	49,73	3. 11. 3	5. 7. 3	47,74	4. 2. 8	5. 5. 8	48,47	76,15	152,30
15	4. 1. 9	7. 1. 9	89,75	4. 7. 2	7. 1. 2	87,75	5. 1.10	7. 0. 4	91,35	180,62	361,24
20	4. 8. 6	8. 8. 6	134,17	5. 3. 1	8. 7. 1	138,93	6. 0. 2	8. 6. 2	145,25	352,72	705,43
25	5. 5. 9	10 5. 9	199,48	6. 0. 0	10. 2. 0	202,08	6. 11. 8	10. 1. 2	213,37	608,85	1217,44
30	5.10. 5	11. 10. 5	266,04	6. 8. 9	11. 8. 9	276,83	7. 9. 0	11. 6. 0	288,75	969,46	1938,93
35	6. 5. 7	13. 5. 7	348,28	7. 5. 4	13. 3. 4	362,83	8. 6. 0	13. 10. 0	381,58	1445,00	2890,00
40	7. 0. 9	15. 0. 9	442,40	8. 1. 0	14. 9. 0	456,76	9. 7. 2	14. 7. 2	483,89	2054,69	4108,89
45	7. 8. 0	16. 8. 0	547,65	8. 10. 6	16. 4. 6	568,35	10. 5. 7	16. 1. 1	597,50	2819,60	5639,21
50	8. 3. 0	18. 3. 0	662,50	9. 8. 2	18. 0. 2	692,33	11. 5. 4	17. 8. 4	728,64	3751,62	7503,24
55	8.10. 5	19. 8. 5	790,35	10. 4. 9	19. 6. 9	824,08	12. 4. 6	19. 3. 0	869,69	4876,37	9752,74
60	9. 5. 7	21. 5. 7	928,19	11. 1. 6	21. 1. 6	967,80	13. 3. 4	20. 9. 4	1021,67	6193,78	12387,56
65	10. 0.10	23. 0. 10	1077,00	11. 10 5	22. 8. 5	1123,62	14. 2. 4	22. 3.10	1186,65	7739,08	15478,17
70	10. 9. 0	24. 9. 0	1242,50	12. 8. 2	24. 4. 1	1295,93	15. 1. 9	23. 10. 9	1366,46	9576,01	19152,02
75	11. 3. 7	26. 3. 7	1410,00	13. 5. 0	25. 11. 0	1475,00	16. 0. 3	25. 4. 9	1553,13	11560,00	23120,00
80	11.10. 9	27. 10. 9	1592,00	14. - 1. 2	27. 5. 1	1661,11	16. 10. 9	26. 10. 9	1751,67	13862,00	27724,00

VI.

Tabelle für die obere und untere Dicke der geböschten und mit Strebepfeilern versehenen Futtermauern von Erdwällen ohne Brustwehren, so daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern das Doppelte des Erddrucks ist (die Strebepfeiler von Mitte zu Mitte entfernt gleich 18 Fuß).

Anlage der Böschung gleich $^1/_5$.

Höhe der zu stützenden Erde	Erddruck	Dicke der Mauern		Strebepfeiler		Inhalt			Widerstand		
		oben	unten	Vorsp.	Breite						
F.	Fuß	F.Z.L.	F.Z.L.	F.Z.L.	F.Z.L.		Fuß			Fuß	
						Mauer	20,00		Mauer	60,00	
10	22,58	2.0.0	4.0.0	0. 0.0	0.0.0	Bösch.	10,00	30,00	Bösch.	13,33	73,33
						Strpf.	0,00		Strpf.	0,00	
						Mauer	33,75		Mauer	139,12	
15	76,15	2.3.0	5.3.0	0. 0.0	0.0.0	Bösch.	22,50	56,25	Bösch.	45,00	184,12
						Strpf.	0,00		Strpf.	0,00	
						Mauer	50,00		Mauer	262,50	
20	180,62	2.6.0	6.6.0	0. 0.0	0.0.0	Bösch.	40,00	90,00	Bösch.	106,67	369,17
						Strpf.	0,00		Strpf.	0,00	
						Mauer	68,75		Mauer	438,38	
25	352,72	2.9 0	7.9.0	1.10.0	2.9.0	Bösch.	62,50	138,25	Bösch.	208,33	707,38
						Strpf.	7,00		Strpf.	60,67	
						Mauer	90,00		Mauer	675,00	
30	608,85	3.0.0	9.0.0	3. 5 0	3.0.0	Bösch.	90,00	197,08	Bösch.	360,00	1217,70
						Strpf.	17,08		Strpf.	182,70	
						Mauer	113,90		Mauer	981,09	
35	969,47	3.3.0	10.3.0	4.10.3	3.3.0	Bösch.	122,50	267,07	Bösch.	571,67	1938,93
						Strpf.	30,67		Strpf.	386,17	
						Mauer	140,00		Mauer	1365,00	
40	1445,00	3.6.0	11.6.0	5.11.6	3.6.0	Bösch.	160,00	346,35	Bösch.	853,33	2890,00
						Strpf.	46,35		Strpf.	671,67	
						Mauer	168,75		Mauer	1835,15	
45	2054,44	3.9.0	12.9.0	6.11.6	3.9.0	Bösch.	202,50	436,48	Bösch.	2215,00	4108,89
						Strpf.	65,23		Strpf.	1058,74	
						Mauer	200,00		Mauer	2400,00	
50	2819,61	4.0.0	14.0.0	7.10,8	4.0.0	Bösch.	250,00	537,67	Bösch.	1666,67	5639,21
						Strpf.	87,67		Strpf.	1572,54	
						Mauer	233,75		Mauer	3067,94	
55	3751,62	4.3.0	15.3.0	8. 8.4	4.3.0	Bösch.	302,50	649,22	Bösch.	2218,33	7503,24
						Strpf.	112,97		Strpf.	2216,97	
						Mauer	270,00		Mauer	3847,50	
60	4876,37	4.6.0	16.6.0	9.5.10	4.6.0	Bösch.	360,00	772,35	Bösch.	2880,00	9752,74
						Strpf.	142,35		Strpf.	3025,24	
						Mauer	308,75		Mauer	4747,03	
65	6193,78	4.9.0	17.9.0	10. 4.0	4.9.0	Bösch.	422,50	908,42	Bösch.	3661,67	12387,56
						Strpf.	177,17		Strpf.	3978,86	
						Mauer	350,00		Mauer	5775,00	
70	7739,09	5.0.0	19.0.0	10. 9 8	5.0.0	Bösch.	490,00	1050,03	Bösch.	4573,33	15478,16
						Strpf.	210,03		Strpf.	5129,83	
						Mauer	393,75		Mauer	6939,84	
75	9576,01	5.3.0	20.3.0	11.6.10	5.3.0	Bösch.	562,50	1209,33	Bösch.	5625,00	19152,00
						Strpf.	253,08		Strpf.	6587,16	
						Mauer	440,00		Mauer	8250,00	
80	11560,00	5.6.0	21.6.0	11.11.7	5.6.0	Bösch.	640,00	1372,60	Bösch.	6826,67	23120,00
						Strpf.	292,60		Strpf.	8043,33	

VII.

Tabelle für die obere und untere Dicke der geböschten und mit Strebepfeilern versehenen Futtermauern von Erdwällen ohne Brustwehren, so daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern das Doppelte des Erddrucks ist (die Strebepfeiler von Mitte zu Mitte entfernt gleich 18 Fuß).

Anlage der Böschung gleich $^1/_6$.

Höhe der zu stützenden Erde	Erddruck	Dicke der Mauern oben	Dicke der Mauern unten	Strebepfeiler Vorsp.	Strebepfeiler Breite	Inhalt		Widerstand	
F.	Fuß	F Z L	F. Z. L	F. Z L.	F. Z. L	Fuß		Fuß	
10	22,58	2.6.0	4.2.0	0.0.0	0.0.0	Mauer 25,00 Bösch. 8,33 Strpf. 0,00	33,33	Mauer 72,92 Bösch. 9,26 Strpf. 0,00	82,18
15	76,15	2.9.0	5.3.0	0.0.0	0.0.0	Mauer 41,25 Bösch. 18,75 Strpf. 0,00	60,00	Mauer 159,84 Bösch. 30,42 Strpf. 0,00	190,26
20	180,62	3.0.0	6.4.0	0.0.0	0.0.0	Mauer 60,00 Bösch. 33,33 Strpf. 0,00	93,33	Mauer 290,00 Bösch. 74,07 Strpf. 0,00	364,07
25	352,72	3.3 0	7.5.0	2.4.0	3.3.0	Mauer 81,25 Bösch. 52,08 Strpf. 10,53	143,86	Mauer 470,57 Bösch. 144,62 Strpf. 90,36	705,55
30	608,85	3.6.0	8.6.0	4.2.3	3.6.0	Mauer 105,00 Bösch. 75,00 Strpf. 24,41	204,41	Mauer 708,00 Bösch. 250,00 Strpf. 258,94	1216,94
35	969,47	3.9.0	9.7.0	5.10.2	3.9.0	Mauer 131,25 Bösch. 102,08 Strpf. 42,63	275,96	Mauer 1011,72 Bösch. 396,99 Strpf. 530,23	1938,94
40	1445,00	4.0.0	10.8.0	7.2.3	4.0.0	Mauer 160,00 Bösch. 133,33 Strpf. 63,89	357,22	Mauer 1386,67 Bösch. 592,59 Strpf. 910,74	2890,00
45	2054,44	4.3.0	11.9.0	8.6.5	4.3.0	Mauer 191,25 Bösch. 168,75 Strpf. 90,67	450,67	Mauer 1840,78 Bösch. 843,75 Strpf. 1424,36	4108,89
50	2819,61	4.6.0	12.10.0	9.6.8	4.6.0	Mauer 225,00 Bösch. 208,33 Strpf. 119,44	552,77	Mauer 2381,25 Bösch. 1157,40 Strpf. 2100,56	5639,21
55	3751,62	4.9.0	13.11.0	10.7.0	4.9.0	Mauer 261,25 Bösch. 252,08 Strpf. 153,60	666,93	Mauer 3015,?6 Bösch. 1540,51 Strpf. 2947,47	7503,24
60	4876,37	5.0.0	15.0.0	11.6.8	5.0.0	Mauer 300,00 Bösch. 300,00 Strpf. 192,87	792,87	Mauer 3750,00 Bösch. 2000,00 Strpf. 4002,74	9752,74
65	6193,78	5.3.0	16.1.0	12.5.0	5.3.0	Mauer 341,25 Bösch. 352,08 Strpf. 235,40	928,73	Mauer 4592,65 Bösch. 2542,82 Strpf. 5252,08	12387,55
70	7739,09	5.6.0	17.2.0	13.3.2	5.6.0	Mauer 385,00 Bösch. 408,33 Strpf. 283,70	1077,03	Mauer 5550,42 Bösch. 3175,92 Strpf. 6751,83	15478,17
75	9576,01	5.9.0	18.3.0	14.2.3	5.9.0	Mauer 431,25 Bösch. 468,75 Strpf. 339,90	1239,90	Mauer 6630,46 Bösch. 3906,25 Strpf. 8615,29	19152,00
80	11560,00	6.0.0	19.4.0	14.9.5	6.0.0	Mauer 480,17 Bösch. 533,33 Strpf. 394,26	1407,76	Mauer 7840,00 Bösch. 4739,90 Strpf. 10540,10	23120,00

VIII.

Tabelle für die obere und untere Dicke der geböschten und mit Strebepfeilern versehenen Futtermauern von Erdwällen ohne Brustwehren, so daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern das Doppelte des Erddrucks ist (die Strebepfeiler von Mitte zu Mitte entfernt gleich 18 Fuß).

Anlage der Böschung gleich $^1/_8$.

Höhe der zu stützenden Erde	Erddruck	Dicke der Mauern		Strebepfeiler		Inhalt		Widerstand	
		oben	unten	Vorsp.	Breite				
F.	Fuß	F Z L	F Z L	F. Z. L.	F. Z. L.	Fuß		Fuß	
10	22,58	3.0.0	4.3.0	0. 0.0	0.0.0	Mauer 30,00 Bösch. 6,25 Strpf. 0,00	36,25	Mauer 60,75 Bösch. 10,42 Strpf. 0,00	17,17
15	76,15	3.3.0	5.1.6	0. 0.0	0.0.0	Mauer 48,75 Bösch. 14,06 Strpf. 0,00	62,81	Mauer 170,62 Bösch. 17,51 Strpf. 0,00	188,13
20	180,62	3.6.0	6.0.0	0.10.6	3.6.0	Mauer 70,00 Bösch. 25,00 Strpf. 3,40	98,40	Mauer 297,50 Bösch. 41,67 Strpf. 22,08	361,25
25	352,72	3.9.0	6.10.0	3. 5.7	3.9.0	Mauer 93,75 Bösch. 39,06 Strpf. 19,43	152,24	Mauer 468,75 Bösch. 81,36 Strpf. 155,31	705,42
30	608,85	4.0.0	7.9.0	5. 6.2	4.0.0	Mauer 120,00 Bösch. 56,25 Strpf. 36,93	213,18	Mauer 690,00 Bösch. 140,63 Strpf. 387,07	1217,70
35	969,47	4.3.0	8.7.6	7. 4.0	4.3.0	Mauer 148,75 Bösch. 76,56 Strpf. 60,60	285,91	Mauer 966,88 Bösch. 226,50 Strpf. 745,56	1938,94
40	1445,00	4.6.0	9.6.0	8.11.4	4.6.0	Mauer 180,00 Bösch. 100,00 Strpf. 89,50	369,50	Mauer 1305,00 Bösch. 333,33 Strpf. 1251,67	2890,00
45	2054,44	4.9.0	10.4.6	10.4.10	4.9.0	Mauer 213,75 Bösch. 126,56 Strpf. 123,56	463,87	Mauer 1710,00 Bösch. 474,60 Strpf. 1924,29	4108,89
50	2819,61	5.0.0	11.3.0	11. 9.2	5.0.0	Mauer 250,00 Bösch. 156,25 Strpf. 163,45	569,70	Mauer 2187,50 Bösch. 651,12 Strpf. 2800,58	5639,20
55	3751,62	5.3.0	12.1.6	13. 0.3	5.3.0	Mauer 288,75 Bösch. 189,06 Strpf. 220,05	697,86	Mauer 2743,12 Bösch. 866,54 Strpf. 3893,58	7503,24
60	4876,37	5.6.0	13.0.0	14. 2.9	5.6.0	Mauer 330,00 Bösch. 225,00 Strpf. 261,05	816,05	Mauer 3382,50 Bösch. 1125,00 Strpf. 5245,24	9752,74
65	6193,78	5.9.0	13.10.6	15. 3.8	5.9.0	Mauer 373,75 Bösch. 264,06 Strpf. 317,78	955,59	Mauer 4111,25 Bösch. 1430,33 Strpf. 6845,97	12387,55
70	7739,09	6.0.0	14.9.0	16. 4.5	6.0.0	Mauer 420,00 Bösch. 306,25 Strpf. 381,92	1108,17	Mauer 4935,00 Bösch. 1786,46 Strpf. 8756,71	15478,17
75	9576,01	6.3.0	17.7.6	17. 5.9	6.3.0	Mauer 468,75 Bösch. 351,56 Strpf. 355,19	1275,50	Mauer 5859,38 Bösch. 2197,26 Strpf. 11095,36	19152,00
80	11560,00	6.6.0	16.6.0	18. 3.5	6.6.0	Mauer 520,00 Bösch. 400,00 Strpf. 528,22	1448,22	Mauer 6900,00 Bösch. 2666,67 Strpf. 13553,33	23120,00

IX.

Tabelle der verschiedenen Dicke, welche man bei Erdwällen ohne Brustwehr den geböschten Mauern ohne Strebepfeiler oben und unten geben muß, damit die Widerstandsfähigkeit gleich dem Doppelten des Erddrucks ist.

Höhe der zu stützenden Erde	Dicke der Mauern bei 1/5 Böschungsanlage		Inhalt des Mauerwerks bei 1 Fuß Länge	Dicke der Mauern bei 1/6 Böschungsanlage		Inhalt des Mauerwerks bei 1 Fuß Länge	Dicke der Mauern bei 1/8 Böschungsanlage		Inhalt des Mauerwerks bei 1 Fuß Länge	Erddruck	Widerstand
	oben	unten		oben	unten		oben	unten			
F.	F. Z. L.	F. Z. L.	Fuß	F. Z. L.	F. Z. L.	Fuß	F. Z. L.	F. Z. L.	Fuß	Fuß	Fuß
10	2. 0. 0	4. 0. 0	30,00	2. 6. 0	4. 2. 0	33,33	3. 0. 0	4. 3. 0	36,25	22,58	45,16
15	2. 3. 0	5. 3. 0	56,25	2. 9. 0	5. 3. 0	60,00	3. 3. 0	5 1. 6	62,50	76,15	152,30
20	2. 6. 0	6. 6. 0	90,00	3. 0. 0	6. 4. 0	93,33	3. 6. 0	6. 0. 0	95,00	180,62	361,24
25	3. 0. 8	8. 0. 8	139,89	3. 8. 8	7. 10. 8	145,14	4. 7.11	7. 8. 3	154,34	352,72	705,43
30	3. 7. 9	9. 7. 9	199,38	4. 5. 6	9. 5. 6	208,75	5. 6. 2	9. 3. 5	221,86	608,85	1217,70
35	4. 3. 4	11. 3. 4	272,22	5. 2. 9	11. 2. 9	288,02	6. 5. 3	10. 9. 5	301'39	969,47	1938,93
40	4.10. 6	12. 10. 6	355,00	5. 11. 6	12. 7. 5	371,67	7. 4. 3	12. 4. 3	394,17	1445,00	2890,00
45	5. 5. 9	14. 5. 9	449,06	6. 8. 3	14. 2. 3	469,69	8. 2. 7	13. 10. 5	496,88	2054,44	4108,89
50	6. 1. 0	16. 1. 0	554,17	7. 5. 3	15. 9. 2	580,21	9. 2. 4	15. 5. 4	615,97	2819,61	5639,21
55	6. 8. 4	17. 8. 4	670,70	8. 2. 9	17. 3. 4	701,25	10. 1.11	16. 11. 6	745,56	3751,62	7503,24
60	7. 3. 7	19. 3. 7	797,92	8. 11. 1	18. 11. 1	835,42	11. 0. 4	18. 6. 5	886,67	4876,37	9752,74
65	7.11. 0	20. 11. 0	937,08	9. 8 1	20. 5. 9	979,96	12. 0. 1	20. 0. 4	1040,45	6193,78	12387,56
70	8 6. 4	22. 6. 4	1086,92	10. 5. 1	22. 1. 0	1137,99	12. 10. 6	21. 7. 6	1207,54	7739,09	15478,17
75	9. 2. 4	24. 2. 4	1252,08	11. 2. 7	23. 8. 5	1309,38	13. 10. 2	23. 3. 0	1391,15	9576,01	19152,02
80	9. 9. 8	25. 9. 8	1424,44	11. 11. 0	25. 3. 9	1486,67	14. 8. 5	24. 8. 5	1576,11	11560,00	23120,00

In Betreff des Vorsprungs der Strebepfeiler hat man mit der Festsetzung derselben bei **10** Fuß Höhe im Verhältniß der Böschungen angefangen und alsdann für denselben auf jede **5** Fuß Höhe eine Vermehrung festgesetzt:

von **8** Zoll bei $^1/_5$ Böschungsanlage,
„ **9** „ $^1/_6$ „ „
„ **1** Fuß $^1/_8$ „ „

In Betreff der in der sechsten Spalte eingeführten Breite war ich genöthigt, — da ich einen Widerstand erzielte, der stets das Doppelte des Erddrucks ist — jene durch Rechnung zu bestimmen.

Zur Annahme der ersten Größe, aus welcher dann die Ergänzung der nöthigen Abmessungen zur Erlangung jenes Widerstandes folgt, bewog mich die Leichtigkeit, welche sich daraus für die Rechnung ergiebt.

Es wird die Mittheilung eines Beispiels genügen, um die Verfahrungsart kennen zu lernen.

Bei einer Bekleidungsmauer von **30** Fuß Höhe, deren Böschungsanlage zu $^1/_6$ festgesetzt ist, findet man in der **III.** Tabelle die obere Dicke zu **4** Fuß **6** Zoll, woraus sich für den Inhalt des Rechtecks im Profil **30** $\times$ (**4** Fuß **6** Zoll) = **135** Fuß ergiebt. Um den Widerstand zu erhalten, muß man diesen Inhalt mit dem Hebelsarm multipliciren, welcher gleich ist der Grundlinie des die Böschung bildenden Dreiecks und der Hälfte der Breite des Rechtecks; also **135** . (**5** + **2** $^1/_4$)

= **978** $^3/_4$ Fuß

Zu diesem addire man das Produkt aus dem Inhalt des Böschungsdreiecks in seinen Hebelsarm, welcher $^2/_3$ der Grundlinie ist; also $\frac{30 \cdot 5}{2}$. $^{10}/_3$ . . . . = **250** „

Summe des Widerstandes = **1228** $^3/_4$ Fuß.

Um den Widerstand der Strebepfeiler zu finden, ziehe man jene Summe von dem doppelten Erddruck ab, der bei jener Höhe gleich **1938,94** ist. Der Unterschied **710,19** ist der durch **18** (der Entfernung zweier nächsten Strebepfeiler von Mitte zu Mitte) dividirte Widerstand eines Strebepfeilers. Da der Vorsprung dieser Strebepfeiler gegeben ist, so kann man ihren Widerstand unabhängig von ihrer Breite finden, indem man den Profilinhalt **30** . **7** = **210** mit dem Hebelsarm multiplicirt, welcher gleich ist der untern Dicke der Mauer und dem halben Vorsprung des Strebepfeilers, also **210** . (**9** $^1/_2$ Fuß + $^7/_2$ Fuß) =

210 . 13 = 2730. Dieses muß durch **18** dividirt werden, wodurch man den Quotienten **151 2/3** erhält. Da aber der Widerstand jedes Strebepfeilers gleich **710,19** seyn muß, damit der Widerstand der Bekleidungsmauer doppelt so groß als der Erddruck ist, so hat man **710,19** durch **151 2/3** zu dividiren, und der Quotient giebt die Breite der Strebepfeiler gleich **4,6 Fuß = 4 Fuß 8 Zoll 2 Linien**, wie es in der III. Tabelle in der sechsten Spalte in der Linie der Höhe von **30** Fuß angezeigt ist.

Der Inhalt des Mauerwerks in der siebenten Spalte und die Widerstandsfähigkeit in der achten sind durch das nämliche Verfahren gefunden worden, welches wir im Vorhergehenden bei dem Widerstand der Profile Vauban's und Belidor's aus einander gesetzt haben. Damit man aber erfährt, wie viel jeder Theil zum Gesammt-Inhalt und Widerstand beiträgt, so sind Inhalt und Widerstand der senkrechten Mauer, der Böschung und der Strebepfeiler besonders angegeben worden.

Diese drei Theile sind so zusammengesetzt, daß sie den größten Widerstand mit der möglichst geringen Materialmenge hervorbringen. Die obere Dicke der Mauer und die Abmessungen der Strebepfeiler verhalten sich umgekehrt wie die Böschungsanlage, d. i. sie sind um so größer, je kleiner diese Anlage ist.

Man kann in jeder Tabelle beobachten, daß nach Maßgabe der größeren Höhe der Mauern die Inhalte der verschiedenen Theile einen größern Widerstand leisten. So sieht man in der III. Tabelle, daß bei **10** Fuß Höhe der Mauerinhalt von **35** einen Widerstand von **119,58** Fuß erzeugt, d. i. mehr als **3** mal so viel; dagegen bei **80** Fuß Höhe erzeugen **560** Fuß Inhalt einen Widerstand von **9426,67** Fuß, d. i. **17** mal so viel als der Mauerinhalt. — Ebenso erzeugt das Böschungsdreieck von **8,33** Fuß Inhalt bei der **10** Fuß hohen Mauer nur einen Widerstand von **9,26** Fuß, während bei der **80** Fuß hohen Mauer das Böschungsdreieck bei **533,33** Fuß Inhalt einen Widerstand von **4739,90** leistet, welcher fast **9** mal so groß ist. — Endlich erzeugt der Inhalt des Strebepfeilers gleich **3,25** Fuß bei der **10** Fuß hohen Mauer einen Widerstand von **23,46** Fuß, d. i. **7** mal so groß; dagegen der Inhalt von **491,26** Fuß bei der **80** Fuß hohen Mauer einen Widerstand von **13557,44** Fuß, d. i. **27 1/2** mal so groß. — Aus dieser Betrachtung folgt, daß bei gleichem Inhalt der verschiedenen Theile die Strebepfeiler den meisten Widerstand leisten.

Diese Folgerung stört nicht dasjenige, was im Vorhergehenden (Seite **209**) gesagt worden ist, daß der geringere Materialinhalt, welchen die Strebepfeiler zu erfordern scheinen, sich wieder ausgleicht durch die größeren Kosten, welche durch die größere Flächenausdehnung und das Legen eines massiven und durchgehenden Fundaments nothwendig werden. — Zum Beweis wollen wir als Beispiel die letzte Zeile der drei vorhergegangenen Tabellen nehmen, welche die Abmessungen einer **80** Fuß hohen Bekleidungsmauer mit einer Böschung im Aeußern und mit Strebepfeilern im Innern, von Mitte zu Mitte **18** Fuß nach dem Vorschlag Vauban's entfernt, angeben. Man findet in der zweiten — für eine Böschungsanlage gleich $^1/_5$ berechneten Tabelle bei der **80** Fuß hohen Mauer den Gesammtinhalt der Mauer, des Böschungsdreiecks und der auf einen Schnitt von **1** Fuß Dicke verwandelten Strebepfeiler gleich **1535,15** Fuß und den von ihnen geleisteten Widerstand, nach derselben Einheit wie die des Inhalts ausgedrückt, gleich **27724** Fuß.

Wir wollen sehen, wie groß die Dicke des rechteckförmigen Theils der Mauer seyn müßte, um eine gleiche Widerstandsfähigkeit bei Weglassung der Strebepfeiler und Beibehaltung derselben Böschungsanlage zu erhalten. Bleibt die Widerstandsfähigkeit dieses Böschungsdreiecks, welche **6826** $^2/_3$ ist, dieselbe, so ist der übrige Theil, mit **R** bezeichnet, gleich **20897** $^1/_3$. Es sey

a, die Grundlinie des Böschungsdreiecks, gleich . . **16** Fuß,
d, die Höhe der Mauer, gleich . . . . . **80** Fuß,
x, die gesuchte Breite des Rechtecks.

Man hat demnach die Gleichung $dx\left(a + \frac{x}{2}\right) = R$, woraus sich nach vorhergehend erklärtem Verfahren ergiebt

$$x = \sqrt{\frac{2R}{d} + a^2} - a.$$

Setzt man hierin die bekannten Werthe, so erhält man

$$x = \sqrt{\frac{20897\,^1/_3 \cdot 2}{80} + 16^2} - 16,$$ woraus nach

ausgeführter Rechnung folgt $x = 11{,}9$ Fuß. — Giebt man demnach der Bekleidungsmauer oben diese Dicke und $^1/_5$ äußere Böschungsanlage, so wird sie so viel Widerstand leisten, als die erstere Mauer mit Strebepfeilern von **13** Fuß Vorsprung und **6** Fuß **5** Zoll **11** Linien Breite. Sie hat aber — statt **1535,15** Fuß Mauerinhalt — gleich

1592 Fuß, welches **57** Fuß mehr beträgt. Es ist klar, daß diese geringe Vermehrung das zusammenhängende Fundament nicht ausgleicht, welches man durchaus unter Mauer und Strebepfeiler ausführen muß, um ihnen eine gemeinschaftliche Grundlage zu geben und dadurch die Ungleichheit der Senkung zu vermeiden, wodurch die Strebepfeiler von der Mauer losgerissen und dieselben also unnütz werden können. Ueberdies ist hierbei abgesehen von den größern Unkosten, welche die größere Flächenausdehnung der Strebepfeiler verursachen.

Bei $^1/_6$ Böschungsanlage findet man in der III. Tabelle, daß bei **80** Fuß Höhe der Gesammtinhalt von Mauer, Böschung und Strebepfeiler in einem Profil von **1** Fuß Dicke beträgt **1584,60** Fuß, dessen Widerstandsfähigkeit, wie im Vorhergegangenen, **27724** Fuß ist. Der Widerstand des Böschungsdreiecks ist **4739,90** Fuß, es bleibt also für **R** der Werth **22984**; der von $a = 13$ Fuß 4 Linien, für $d = 80$ Fuß. Die Formel

$$x = \sqrt{\frac{2R}{d} + a^2} - a \quad \text{giebt demnach}$$

$$x = \sqrt{\frac{22984 . 2}{80} + 13^1/_3{}^2} - 13^1/_3,$$

woraus man nach ausgeführter Rechnung erhält $x = 14{,}1$ Fuß. Der Inhalt der Mauer, welche oben diese Dicke hat, ist mit dem des Böschungsdreiecks gleich **1661** Fuß — statt **1584,60** Fuß, welches der Inhalt der geböschten Mauer mit den Strebepfeilern ist. Dieses giebt einen Unterschied von $76^3/_4$ Fuß, welches zu wenig ist, um es mit dem massiven Fundament und dem größern Kostenbetrag der letztern Mauer zu vergleichen.

Bei $^1/_8$ Böschungsanlage findet man endlich durch ein — dem vorhergegangenen ähnliches Verfahren $x = 16{,}95$, wodurch eine Inhaltsvermehrung von **122** Fuß entsteht, welches noch unter dem Mehrbetrag des massiven Fundamentes und der größeren Sorgfalt ist, die man bei den Strebepfeilern anzuwenden hat.

Die V. Tabelle enthält die obere und untere Dicke geböschter Futtermauern von Erdwällen mit Brustwehren, ohne Strebepfeiler, für die drei — im Vorhergegangenen angeführten Böschungsanlagen mit dem Inhalt, Erddruck und Widerstand. —

Um die Gestalt der Bekleidungsmauer, welche den größten Widerstand bei dem geringsten Inhalt leistet, unabhängig von Theorie und

von Beispielen, die aus Bauten dieser Art hergeleitet sind, kennen zu lernen, habe ich eine große Menge von Versuchen angestellt, aus welchen sich Folgendes ergiebt: — Zieht man nämlich aus dem Schwerpunkt q (Figur 1, 2 und 3, Tafel CLXXXXII) der dreieckigen Erdmasse, welche den Druck verursacht, eine Linie qP parallel mit dem natürlichen Hang der Erde bis zur Grundlinie nach P, so ist das Dreieck PDF die Gestalt der Bekleidungsmauer, welche den größten Widerstand leistet. Demnach wird eine Bekleidung von Holz, deren Profil jenem Dreieck gleich ist, einem Druck von Sand widerstehen, obgleich das specifische Gewicht von jenem nur halb so groß als von diesem ist.

Diese Erfahrung ist mit der Theorie übereinstimmend, welche nämlich lehrt, daß — wenn die Richtung einer Kraft nicht über den Stützpunkt in der Grundfläche hinausgeht — das Widerlager durch die Kraft nicht umgeworfen, sondern nur fortgeschoben werden kann.

Nimmt man den natürlichen Hang der Erde zu 45 Grad an, wie in Figur 3, so ist die Grundlinie DP = $^1/_3$ der Höhe. Da aber das Profil der Bekleidung stets ein Parallel-Trapez ist, wie FDHK in Figur 5, oder ein Rechteck, so folgt daraus, daß — wenn diese Profile $^1/_3$ der Höhe zur Grundlinie haben — sie nie durch den Erddruck umgestürzt werden können, wie groß man diesen auch annehmen mag. Die in den vorhergegangenen Tabellen angegebene Dicke könnte daher geringer seyn für die Höhen unter 80 Fuß, wenn man nur den Erddruck berücksichtigte. Es ist abet schon bemerkt worden, daß diese Mauern — statt aus einem Stück zu bestehen — bloß aus Theilen zusammengesetzt sind, welche nur zusammenhalten durch ihr Gewicht, durch ihre Gestalt und durch einen Mörtel, der sie erst nach einiger Zeit fest verbindet. Damit also diese Mauern dauerhaft sind, müssen sie — abgesehen von der Dicke zum Widerstehen gegen den Erddruck — eine Dicke von wenigstens 3 Fuß haben. Deßwegen hat man bei der Betrachtung des Widerstandes von der Richtung der drückenden Kraft abgesehen (deren Hebelsarm Null ist), sobald die Grundbreite der Mauer mehr als $^1/_3$ ihrer Höhe beträgt.

Die vier letzteren Tabellen unterscheiden sich von den vier vorhergehenden nur darin, daß die Bekleidungsmauern ohne Brustwehr, oder daß sie gewöhnliche Terrassenmauern sind, welche durch eine kleine Unterstützungsmauer geschlossen sind. —

Es muß noch bemerkt werden, daß man in den Tabellen II, III, IV nach angenommenem Vorsprung der Strebepfeiler ihre Breite durch Rechnung gefunden hat; dagegen in den Tabellen VI, VII, VIII ist die Breite derselben gegeben und man hat ihren Vorsprung gesucht. Bei dieser letztern Art ist die Breite der Strebepfeiler gleich der obern Dicke der Mauer, wodurch bei gleicher Masse ein größerer Widerstand hervorgebracht wird; aber die erstere Art ist leichter in der Anwendung.

Die Formel, durch welche der Vorsprung der Strebepfeiler gefunden wird, wenn alle anderen Abmessungen gegeben sind, ist

$$x = \sqrt{\frac{2Rf}{de} + c^2} - c.$$

In derselben bezeichnet:

R den doppelten Widerstand, welchen jeder Strebepfeiler zu leisten hat,
f die Entfernung eines Strebepfeilers vom andern von Mitte zu Mitte,
d die Höhe der zu stützenden Erde,
e die Breite des Strebepfeilers,
x der Vorsprung desselben, und
c die untere Dicke der Bekleidungsmauer.

Bei einer Höhe von 30 Fuß und $^1/_8$ Böschungsanlage (Tabelle VIII) ist der Widerstand jedes Strebepfeilers $R = 387{,}08$ Fuß, also $2R = 774{,}16$ Fuß, $f = 18$ Fuß, $d = 30$ Fuß, $e = 4$ Fuß, $c = 7$ Fuß 9 Zoll. Setzt man diese Werthe in die Formel, so erhält man

$$x = \sqrt{\frac{774{,}16 \cdot 18}{30 \cdot 4} + 7{,}75^2} - 7{,}75,$$ woraus sich nach ausgeführter Rechnung ergiebt $x = 5$ Fuß 6 Zoll 2 Linien, welches der dem Strebepfeiler zu gebende Vorsprung ist.

Es ist noch zu bemerken, daß man, um den niedrigeren Mauern eine größere Dicke zu geben, erst von 25 Fuß Höhe an bei $^1/_5$ und $^1/_6$ Böschungsanlage und von 20 Fuß an bei $^1/_8$ die Strebepfeiler beigefügt hat.

In Betreff der IX. Tabelle ist nichts mehr zu dem, was über die V. gesagt worden ist, zuzufügen.

Eine leichte Art, die Dicke der Futtermauern zu finden.

Da die verschiedenen im Vorhergehenden angegebenen Arten zur Auffindung der Dicke Manchen zu lang und schwierig erscheinen könnten, so werden hier noch schließlich leichte Regeln hierüber gegeben, welche nur die Kenntniß der ersten Lehrsätze der Geometrie und Arithmetik erfordern. Diese einfachen Regeln liefern Resultate, die hinreichend genau sind, um sich ihrer mit Vertrauen zu bedienen, denn sie sind auf dieselben Lehrsätze gegründet wie die vorhergehenden Arten. Sie geben etwas größere Resultate, welches aber der Dauerhaftigkeit zum Vortheil kommt.

Erste Regel. — Durch ein geometrisches Verfahren die Dicke einer senkrechten Mauer zu finden, damit sie dem Erddruck hinreichenden Widerstand leistet.

Nachdem man auf irgend eine Art den natürlichen Hang der zu stützenden Erde gefunden hat, zeichne man das Dreieck **AED** oder **ABD** (Figur **1** und **3** auf Tafel **CLXXXXII**), dessen Höhe **AE** oder **AB** gleich ist der Höhe der zu stützenden Erde. Hierin ist dann **ED** oder **BD** die Neigung, welche die Erdmasse ohne Widerlager annehmen würde. Nachdem man **ED** oder **BD** in sechs gleiche Theile getheilt hat, beschreibt man mit diesem Theil aus **D** einen Kreisbogen, welcher die Grundlinie **AD** in **K** schneidet. **DK** ist dann die gesuchte Dicke.

Zweite Regel. — Durch Rechnung.

Nimmt man **45** Grad als den natürlichen Hang der Erde an, wie es gebräuchlich ist, so ist **BD** die Diagonale eines Quadrats, wovon man immer die Seite **AB** gleich der Höhe der zn stützenden Erde kennt. Um die Länge der Linie **BD** zu erhalten, genügt es, das Verhältniß der Quadratseite zur Diagonale kennen zu lernen. Obgleich dieses Verhältniß nicht genau angegeben werden kann, so wird für den gewöhnlichen Gebrauch ohne erheblichen Fehler das Verhältniß **= 70 : 99** angenommen. Da das Quadrat der Diagonale gleich dem doppelten Quadrat der Seite ist, so geben die Quadratwurzeln hieraus das genaue Verhältniß jener beiden Linien.

Es sey die Höhe **AB = 15** Fuß, so erhält man $\mathbf{BD} = \frac{\mathbf{15 \cdot 99}}{\mathbf{70}}$

= 21 Fuß **2** Zoll **7** Linien. Dividirt man diese Größe durch **6**, so ist der Quotient gleich **3** Fuß **6** Zoll **5** Linien die gesuchte Dicke.

Die auf Seite 193 gegebene Formel und die darauf gegründete vierte Anwendung auf Seite 196 gäben 3 Fuß 1 Zoll 9 Linien.

Verlangt man eine noch größere Widerstandsfähigkeit, so nehme man — statt $^1/_6$ von jener Diagonale — gleich $^1/_5$ für die Mauerdicke, also = 4 Fuß 3 Zoll. Hierdurch erhält man einen Widerstand, welcher fast das Doppelte des Erddrucks ist, wie in den vorhergegangenen Tabellen.

Dritte Regel.

Hat man, statt einer senkrechten Mauer, eine mit $^1/_6$ Böschungsanlage auszuführen, so giebt man der Mauer zur obern Dicke $^1/_9$ der Diagonale. Demnach wäre die obere Dicke für eine Mauerhöhe von 15 Fuß gleich 2 Fuß 4 Zoll 3 Linien, und die untere gleich 4 Fuß 10 Zoll 3 Linien.

Will man nur $^1/_8$ Böschungsanlage nehmen, so muß man die obere Dicke gleich $^1/_8$ der Diagonale setzen. Da die Diagonale einer 24 Fuß hohen Mauer gleich 33 Fuß 11 Zoll 3 Linien beträgt, so ist demnach die obere Dicke gleich 4 Fuß 2 Zoll 10 Linien, und die untere gleich 7 Fuß 2 Zoll 10 Linien.

Vierte Regel.

Um die Dicke einer senkrechten Mauer zu finden, welche man mit Strebepfeilern von der nämlichen Breite wie die Mauerdicke und von der Entfernung 18 Fuß von Mitte zu Mitte versehen will, so theilt man die Hanglinie oder die Diagonale in 10 gleiche Theile, und nimmt diesen Theil zur gesuchten Dicke.

Nimmt man z. B. den Hang zu 45 Grad an bei der 40 Fuß hohen Erdmasse, so ist die Diagonale gleich 56 Fuß 6 Zoll 10 Linien, wovon $^1/_{10}$ gleich 5 Fuß 7 Zoll 10 Linien beträgt. Der Vorsprung der Strebepfeiler ist doppelt so groß, also gleich 11 Fuß 3 Zoll 8 Linien, und die Breite gleich der Mauerdicke, also gleich 5 Fuß 7 Zoll 10 Linien. Durch Rechnung findet man aus diesen Maßen den Widerstand der Mauer mit den Strebepfeilern gleich 2497,13 Fuß, und der Erddruck beträgt nur 1445 Fuß.

Fünfte Regel.

Wenn die Mauer, welche man mit Strebepfeilern versieht, auch eine Böschung hat, so muß man, um die obere Dicke der Mauer zu

finden, zuerst die geringste Dicke bei 10 Fuß bestimmen, damit man eine gewisse Dauerhaftigkeit erhält, welche von der — zur Unterstützung des Erddrucks erforderlichen unabhängig ist. Jene Dicke kann zu 2 Fuß angenommen werden. Bei größern Höhen addirt man hierzu für jeden Fuß Höhe mehr eine Größe, welche um so größer seyn muß, je geringer die Böschungsanlage ist. Nämlich

bei einer Böschungsanlage gleich $^1/_5$ addirt man 5 Linien,
" " " " $^1/_6$ " " 6 "
" " " " $^1/_8$ " " 9 "

Den Strebepfeilern giebt man die Breite gleich der Mauerdicke, und ihren Vorsprung macht man doppelt so groß.

Beispiele.

Bei $^1/_5$ Böschungsanlage und 40 Fuß Höhe addirt man zu 2 Fuß die Größe 5 Linien 40 mal, wodurch man 3 Fuß 4 Zoll 6 Linien für die obere Dicke der Mauer und für die Breite der Strebepfeiler erhält; der Vorsprung von diesen ist doppelt so groß, also gleich 6 Fuß 9 Zoll.

Führt man die Rechnung diesen Dimensionen gemäß aus, so erhält man die Widerstandsfähigkeit gleich 2907, statt 2890, welche in der Tabelle VI angegeben ist, also etwas mehr als das Doppelte des Erddrucks.

Bei $^1/_6$ Böschungsanlage und derselben Höhe findet man, nachdem man 6 Linien mit der Höhe multiplicirt und dieses Produkt zu 2 Fuß addirt hat, für die obere Dicke der Mauer und für die Breite der Strebepfeiler gleich 3 Fuß 8 Zoll und 7 Fuß 4 Zoll Vorsprung dieser letztern. Die Rechnung nach diesen Maßen giebt für die Widerstandsfähigkeit gleich 2926, statt 2890, welche in der Tabelle VII angegeben ist.

Endlich bei $^1/_8$ Böschungsanlage und derselben Höhe findet man, nachdem man 9 Linien mit der Höhe multiplicirt hat, die obere Dicke der Mauer und die Breite der Strebepfeiler gleich 4 Fuß 6 Zoll und den Vorsprung von diesen gleich 9 Fuß. Dadurch erhält man einen Widerstand gleich 2943, statt 2890, welcher in der Tabelle VIII gegen einen Druck von 1445 angegeben ist.

Wir bemerken hier, daß in den beiden ersten angeführten Beispielen, die mit der Höhe multiplicirte Anzahl Linien wie die Nenner der

Brüche zunehmen, welche die Böschungsanlage angeben. Aber dies ist nicht der Fall bei den Böschungsanlagen, welche größer als die im ersten Beispiel oder kleiner als die im zweiten sind; denn jene Anzahl Linien wird Null, wenn die Böschungsanlage $^3/_4$ der Höhe ist, und sie beträgt **25** Linien bei der Böschungsanlage gleich $^1/_{12}$ der Höhe. Bei einer senkrechten Mauer müßte man **48** Linien nehmen, um dieselbe Widerstandsfähigkeit zu erhalten, welche die soeben besprochenen Mauern mit Böschungen haben, die übrigens am Allgemeinsten gebräuchlich sind.

Sechste Abtheilung.

Theorie der Gewölbe.

Die Gewölbe können unter drei verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden, nämlich: 1) In Beziehung auf ihre Gestalt. 2) In Bezug auf die Art, wie sie construirt sind. 3) Hinsichtlich ihres Drucks.

In der ersten Beziehung sind die Gewölbe bereits in der ersten Abtheilung des 3. Buchs, worin von den Curven die Rede ist, nach denen die inneren Gewölbeflächen geformt werden können, betrachtet worden. Hinsichtlich des zweiten Gesichtspunktes umfaßt das Studium der Gewölbe diejenigen Kenntnisse des Steinschnitts und der Construction der Gewölbe, welche bereits in der 3., 4., 5. und 6. Abtheilung des 3. Buchs, so wie in der 3. Abtheilung des 4. Buchs, welche von der Maurerei handelt, ausführlich auseinander gesetzt wurden. Das Studium der Gewölbe in Bezug auf ihren Druck beruht auf theoretischen Kenntnissen, welche die Bedingungen und die Prinzipien der Statik behandeln, vermöge welchen sich die Gewölbe tragen und welche die Theorie der Gewölbe ausmachen; mit ihnen beschäftigt sich gegenwärtige Abtheilung.

Man hat sehr spät angefangen, die Nothwendigkeit zu fühlen, die Aufgabe über das Gleichgewicht der Gewölbe den Gesetzen der Mechanik zu unterwerfen. Es scheint nicht, daß die alten Architekten, so wie die der Epoche der Wiedergeburt angehörigen, in der Untersuchung der Mittel, durch welche sie sich der Solidität der verschiedenen Theile ihrer Gebäude und besonders ihrer Gewölbe versicherten, durch sichere Grundsätze und durch die Geometrie geleitet worden seyen. [1]) Die Erfahrung,

---

1) Siehe die nachträglichen Bemerkungen zu den Kupfertafeln.

die Nachahmung und eine natürliche Mechanik[1]) dienten ihnen zu Führern. Obgleich man in allen ihren Denkmälern eine große Sicherheit in den Ausführungsmitteln und in einigen derselben den Anschein einer außerordentlichen Kühnheit gewahrt, so scheinen diese Resultate doch der Kunst mehr, als der Wissenschaft zugeschrieben werden zu müssen.

Vitruv, dessen Blüthezeit unter August fällt und der in seinem Werke alle Kenntnisse gesammelt hat, die er für den Architekten als nothwendig erachtet, spricht durchaus nicht von der Hülfe, welche die Mechanik zur Erkennung der Kräfte und deren Zerlegung, behufs ihrer Vertheilung auf geeignete Stützen, darbot. Er erwähnt eben so wenig der Kunst des Stein- und Holzschnitts. Zu sehr ausschließlich mit Allem beschäftigt, was die äußere Dekoration und die innere Einrichtung ihrer Gebäude betraf, haben sowohl die alten Architekten, als diejenigen, welche im vierzehnten und fünfzehnten Jahrhundert blühten, wahrscheinlich den Handwerkern den die Solidität betreffenden Theil der Kunst und das Detail der Constructionsmittel beinahe ganz überlassen, und hierin haben sie unglücklicherweise nur zu viele Nachahmer unter denen gehabt, die auf sie folgten.

Die Herren Parent und de la Hire von der Akademie der Wissenschaften gelten für die ersten Mathematiker, welche sich mit der Theorie der Gewölbe beschäftigten; sie haben die Gewölbe anfangs als eine Zusammensetzung von Gewölbsteinen, oder keilförmig behauener Steine betrachtet, welche ungehindert an einander fortgleiten könnten, wie Körper mit fein polirten Oberflächen. Unter dieser Voraussetzung hat de la Hire in seinem **Traité de Mécanique**, gedruckt **1695**, bewiesen, daß, damit sich ein Gewölbe im vollen Zirkel, dessen Fugen nach einem und demselben Mittelpunkte laufen, unterstützen könne, die Gewichte der Gewölbsteine sich verhalten müßten, wie die Tangenten der Winkel, welche die Gewölbsteine bilden. Da aber diese Tangenten sehr schnell wachsen, so folgt daraus, daß die Anfänger oder ersten Gewölbsteine ein unendlich großes Gewicht haben müßten, um der Wirkung der oberen zu widerstehen. Nach dieser Hypothese würden nicht allein die Gewölbe im vollen Bogen unmöglich seyn, sondern auch die über den vollen Bogen erhöhten und die gedrückten, deren innere Wölbung

1) Introduction de la statique des voûtes, de Bossut, qui termine son Traité de Mécanique, publié à Paris, en 1802.

sich an vertikale, parallele Widerlager anschließt, so daß es also nur Gewölbe geben könnte, die nach offenen, mit vertikalen Widerlagern Winkel einschließenden Curven gestaltet wären, wie dies mit der Parabel, der Hyperbel und der Kettenlinie der Fall ist. Es ist nicht überflüssig, hier zu bemerken, daß in parabolischen und hyperbolischen Gewölben der Schlußstein am schwersten seyn, oder die größte Höhe haben und daß das Gewicht der übrigen vom Schlußstein bis zu den Anfängern abnehmen muß; endlich daß die Kettenlinie die einzige Curve ist, welche zu parallel abgeglichenen, d. h. zu überall gleich dicken Gewölben taugt, weil diese Linie die einzige ist, bei welcher die Gewölbsteine, bei gleicher Theilung, gleiche Tangentendifferenzen geben. Siehe die Figuren **8**, **9**, **10** und **11** auf Tafel **XXVII** nebst den zugehörigen Erklärungen, **3.** Buch, **2.** Band Seite **112** u. f., wo von der Form der Gewölberücken die Rede ist.

In den Memoiren der Akademie der Wissenschaften vom Jahr **1729** hat Couplet eine erste Denkschrift über den Druck der Gewölbe bekannt gemacht, worin er die Hypothese mit polirten Gewölbsteinen annimmt. Sobald er indessen in der Folge erkannt hatte, daß diese Hypothese den Stoffen, woraus die Gewölbe gemacht werden, nicht angemessen sey, hat er die Gewölbsteine in einem zweiten Memoire vom Jahr **1730** als dergestalt körnige Körper betrachtet, daß sie nicht abgleiten könnten; eine Hypothese, die sich eben so weit von der Wahrheit entfernt, als die erste.

Danisy, von der Akademie zu Montpellier, der keine dieser Hypothesen annehmen wollte, ließ mehrere Modelle von Gewölben mit verschiedenen Bogen machen, um die Erfahrung zu Rathe zu ziehen. Diese Modelle waren auf gleiche Dicke abgeglichen, in gleiche Gewölbsteine getheilt und ruhten auf hinreichend dicken Widerlagern. Um diejenigen Stellen zu finden, wo sie bei zu schwachen Widerlagern brechen würden, belud er sie mit verschiedenen Gewichten. Aus mehreren, in der öffentlichen Sitzung vom Jahr **1732** widerholten, Versuchen zog er eine praktische Regel, nach welcher die Dicke der Widerlager eines Tonnengewölbes so bestimmt wurde, daß die Widerlager den Druck desselben aushalten konnten. [1])

Pater Derand hatte auch schon in seiner Abhandlung über die Architektur der Gewölbe eine Regel gegeben, allein sie war auf kein Prinzip

---

1) Frezier citirt diese Regel in dem dritten Bande seines Steinschnitts Seite 370.

gegründet. Indessen wurde sie doch von Franz Blondel und Pater Dechalles, so wie in der Folge von de la Rue angenommen.

Gauthier, Architekt und Ingenieur des Brücken- und Straßenbaues, schlug in seiner Abhandlung über die Brücken eine andere Regel vor, die aber nicht besser begründet ist, als die des Paters Derand.

Frezier hat am Schlusse seiner theoretisch-praktischen Abhandlung über den Steinschnitt einen Anhang über den Druck der Gewölbe hinzugefügt, der ein Auszug dessen ist, was bis dahin über diesen Gegenstand von de la Hire, Couplet, Bernouilli und Danisy bekannt war; er hat damit Anwendungen auf verschiedene Arten von Tonnengewölben verbunden, so wie ein Mittel angegeben, durch welches sie auch für sphärische, sphäroidische, ringförmige und zusammengesetzte Gewölbe brauchbar werden. Frezier ist der erste, der diese Anwendungen zu machen gesucht hat.

Coulomb und Bossut, Mitglieder des Instituts, haben sich ebenfalls mit der Theorie der Gewölbe beschäftigt. Jener übergab im Jahr 1773 der Akademie der Wissenschaften ein Memoire über einige auf Architektur Bezug habende Aufgaben, unter denen sich eine über das Gleichgewicht der Gewölbe befindet.

Bossut ließ in den Denkschriften der Akademie von 1774 und 1776 zwei Abhandlungen über die Theorie der Tonnen- und Kuppelgewölbe drucken, worin auch die Rede von der Kuppel der neuen Genovevenkirche ist, deren Möglichkeit, wie wir dies schon bemerkt haben, damals der Gegenstand eines lebhaften Streites zwischen den Ingenieuren und Architekten war.

In Italien hat Lorgna, Militäringenieur und Director der Schule zu Verona, diesen Theil der Architektur ebenfalls in einem Saggi di statica meeanica applicate alle arti betitelten Werke behandelt; endlich hat Mascheroni von Bergamo im Jahr 1785 über diesen Gegenstand ein Werk mit dem Titel Nuove ricerche delle volte bekannt gemacht, worin von den Kuppeln mit kreisförmigen, elliptischen und vieleckigen Grundflächen gehandelt wird.

Erstes Kapitel.

Vom Drucke der einfachen Gewölbe.

Erster Artikel. — Untersuchungen über die Reibung in Beziehung auf die Theorie der Gewölbe.

Der Wunsch, diesen wichtigen Theil der Baukunst gründlich zu studiren, hat mich veranlaßt, die verschiedenen Werke der so eben angeführten Schriftsteller mit Aufmerksamkeit zu lesen. Während dieser Lectüre habe ich alle von ihnen angegebene oder angezeigte Operationen vorgenommen und die Formeln auf mehrere, aus bereits ausgeführten Gebäuden genommene, Beispiele oder auf besonders dazu angefertigte Modelle angewendet; ich habe alle von ihnen angeführte Versuche wiederholt, und deren neue angestellt, um endlich die wahre Art des Drucks der Gewölbe zu entdecken, und um die Grundsätze der Mechanik dergestalt darauf anwenden zu können, daß mit der Erfahrung übereinstimmende Resultate erhalten werden.

Aus allen diesen Untersuchungen und den Beobachtungen, die ich zu machen Gelegenheit hatte, indem ich bei Ausführung von Werken dieser Art fortwährend Prüfungen anstellte, habe ich die Theorie abgeleitet, die ich nun entwickeln will und worin ich mich bestrebte, nur von den leichtesten Sätzen und Operationen des Calculs und der Geometrie Gebrauch zu machen.

Versuche über die Reibung.

Um mich in meinen Untersuchungen nicht durch falsche Hypothesen irre führen zu lassen, habe ich mit Versuchen angefangen. Ich bezog die angestellten Versuche auf die Ursachen, durch welche selbst Steine vom feinsten Korn und der besten Zurichtung verhindert werden, an

einander fortzugleiten, um auf diese Weise zu erfahren, wie viel dieser Umstand, den man unter Reibung begreift, zur Verminderung des Drucks eines aus getrennten Hausteinen ausgeführten Gewölbes beitragen könne.

Bemerkungen.

1) Damit ein steinernes Parallelepipedum **ABCD** auf einer Horizontalebene **FG**, Figur **1**, Tafel **CLXXXIII**, fortgleite, ist es nöthig, daß eine Kraft **P**, welche in mit dieser Ebene paralleler Richtung zieht oder drückt, nicht mehr über die Ebene erhoben sey, als die Länge **AB** der Grundfläche des Parallelepipedums beträgt; denn wirkte diese Kraft an einem höheren Punkte, z. B. an **C**, so würde der Körper umfallen, statt fortzugleiten.

Da die Wirkungen der Kräfte **P** und **M** sich umgekehrt wie die Höhen verhalten, auf welchen sie angebracht sind (Seite **11**, **2**. Absatz), so folgt daraus, daß ein Parallelepipedum jedesmal fortgleiten wird, wenn die zum Umwerfen desselben erforderliche Kraft größer ist, als die zum Fortgleiten nöthige, und daß der Körper im Gegentheil umfallen wird, sobald dazu weniger Kraft nöthig ist, als zum Fortgleiten.

2) Ist die Ebene, worauf man den Körper legt, geneigt, so gleitet der Körper fort, wenn die durch den Schwerpunkt gezogene Vertikallinie **QS**, Figur **2**, noch die Basis **AB** trifft. Um also zu erfahren, ob ein Parallelepipedum mit rechtwinklicher Grundfläche wie **ABCD** fortgleitet, oder umfällt, zieht man durch den Punkt **B** eine Vertikale **BE**; geht sie diesseits am Schwerpunkt **Q** vorbei, so wird der Körper fortgleiten, andernfalls, wenn sie diesen Punkt rechts läßt, fällt der Körper um.

Wären die Oberflächen der Steine vollkommen eben, wie man es annimmt, um die Anwendung der Gesetze der Mechanik zu verallgemeinern, so würden die Körper fortgleiten, sobald die Ebene, worauf man sie legt, aufhörte, vollkommen horizontal zu seyn. Da aber die Oberflächen der Steine aus Unebenheiten bestehen, die beim Aufeinanderlegen in einander greifen, so habe ich durch mehrmals wiederholte Versuche gefunden, daß Steine mit möglichst glatt bearbeiteten Flächen auf eben so zubereiteten Steinen derselben Art erst dann anfangen fortzugleiten, wenn die Ebene unter **28** bis **36** Grad geneigt ist, weil man sie, so zu sagen, erheben, oder die erwähnten Unebenheiten zerreißen muß, um die Steine zum Fortgleiten zu bringen. Diese Schwie-

rigkeit, Steine auf einander fortzubewegen, nimmt im Verhältniß der Rauhigkeit ihrer Flächen und, bis zu einem gewissen Punkt, im Verhältniß ihres Gewichtes zu; denn es ist klar: 1) daß die in einander greifenden Unebenheiten desto beträchtlicher werden, je rauher die Flächen sind; 2) daß bei größerem Gewicht auch eine größere Kraft zur Trennung der Unebenheiten nöthig ist. Da aber diese Unebenheiten endlich brechen oder zerreißen, so muß das Maximum der die Reibung überwindenden Kraft derjenigen Kraft gleich seyn, die jene Wirkung hervorbringt, wie groß auch das Gewicht des Steins seyn mag. 3) Daß diese Kraft eher im Verhältniß der Härte des Steins steht, als seines Gewichts.

Indem ich verschiedene Parallelepipeden von hartem Stein, 2 bis 60 Pfund an Gewicht, fortgleiten ließ, habe ich gefunden, daß die Reibung, welche bei den ersten mehr als die Hälfte des Gewichts betrug, sich bei den letzten auf weniger als ein Drittel verminderte.

Nach jedem Versuche mit den größten bemerkte ich einen Staub, der auf den sich reibenden Flächen durch das Zerreißen der Unebenheiten entstand. Bei den Versuchen mit weichen Steinen beförderte dieser Staub das Fortgleiten.

Diese Umstände, welche bei Steinen von beträchtlichem Gewicht großen Einfluß haben können, kommen bei den jetzt anzuführenden Versuchen nicht in Betracht. Meine Absicht bei diesen Versuchen war blos, mittelst sehr kleiner, harter Steine das Resultat der durch die Theorie angezeigten Operationen zu bestätigen.

Durch Versuche, welche ich mit gut zugerichteten und auf Sandstein abgeriebenen Parallelepipeden von Liais (pierre de liais) anstellte und mit vieler Vorsicht wiederholte, habe ich gefunden: 1) daß sie auf einer eben so zubereiteten Ebene von derselben Steinart erst anfingen fortzugleiten, wenn der Neigungswinkel ein wenig mehr als 30 Grad betrug; 2) daß man, um auf dieser Ebene, in horizontaler Lage, ein Parallelepipedum von derselben Materie fortzuziehen, die Hälfte seines Gewichtes nöthig hat. Zu einem Parallelepipedum von 6 Zoll Länge, 4 Zoll Breite, 2 Zoll Dicke und 4 Pfund 11 Unzen Gewicht bedurfte man nämlich zum Fortziehen in horizontaler Richtung 2 Pfund 7 Unzen 4 Quentchen. 3) Daß die Größe der reibenden Fläche keinen Unterschied macht, denn man braucht genau dieselbe Kraft, wenn man das Parallelepipedum auf der Fläche von 2 Zoll, oder von 4 Zoll Breite fortbewegen will.

Erwägend alsdann, daß durch die Mechanik bewiesen wird, daß um einen vollkommen polirten oder runden Körper auf einer unter **30** Grad geneigten Ebene von derselben Beschaffenheit in die Höhe zu bewegen, in einer mit der Ebene parallelen Richtung eine Kraft nöthig ist, die ein wenig mehr als die Hälfte seines Gewichts beträgt, habe ich folgenden, wie mir scheint, gegründeten Schluß gezogen: daß man zur Fortbewegung eines Parallelepipedums von Liais auf einer horizontalen Ebene von der nämlichen Beschaffenheit, eben so viel Kraft bedürfe, als nöthig ist, um einen runden oder vollkommen polirten Körper auf einer unter **30** Grad geneigten Ebene in die Höhe zu ziehen.

Hiernach glaubte ich, daß man zur Anwendung der Gesetze der Mechanik auf Bogen, die aus Gewölbsteinen von eben so, wie das Parallelepipedum in obigem Versuch, zubereitetem Liais bestehen, die unter **30** Grad geneigte Ebene, auf welcher sich diese Gewölbsteine im Gleichgewicht erhalten, als eine horizontale Ebene betrachten könne.

Zur Bestätigung dieser Hypothese dient noch folgender Versuch. Wenn man ein steinernes Parallelepipedum **C**, Figur **3**, zwischen zwei andere **BD**, **RS** vom doppelten Volumen bringt, welche auf einer horizontalen Unterlage von derselben Steinart ruhen, so erhält es sich durch die bloße Reibung der sich berührenden vertikalen Flächen in dieser Lage. Diese Thatsache ist eine Bestätigung unserer Hypothese; denn da die Unebenheiten dieser Körper in einander greifen, so müßte das Parallelepipedum **C**, um zu fallen, die beiden andern **BD**, **RS** auf der Horizontalebene von derselben Beschaffenheit zum Fortgleiten bringen, und hierzu müßte es eine dem unterstützten Gewicht doppelte Kraft anwenden.

Wendet man auf diesen Versuch die Gesetze der Mechanik an, indem man die unter **30** Grad geneigte Ebene als Horizontalebene annimmt, so können die Vertikalflächen **ED**, **FR** als unter **60** Grad geneigte Ebenen betrachtet werden. Unter dieser Voraussetzung wird in der Mechanik gezeigt, daß zur Unterstützung eines Körpers zwischen zwei, einen Winkel von **60** Grad einschließenden Ebenen, Figur **4**, der Widerstand einer jeden derselben sich zur Hälfte des zu unterstützenden Gewichts verhalten müsse, wie **HD** zu **DG**, oder wie der Sinus totus zum Sinus von **30** Grad, also wie **2** zu **1**.

Da der Widerstand eines jeden der beiden Parallelepipeden wie **ADBE**, Figur **3**, der Hälfte seines Gewichts gleich ist, so folgt daraus, daß das durch beide Prismen zu unterstützende Gewicht dem vierten Theile beider Prismen zusammen, oder der Hälfte des einen gleich seyn muß, welches durch den Versuch bestätigt wird. Diese Uebereinstimmung hat mich bestimmt, diese Hypothese auf Modelle von Gewölben anzuwenden, die aus einzelnen, mit möglichster Genauigkeit aus Liais verfertigten Gewölbsteinen zusammengesetzt sind; die Fugen und Stirnflächen sind auf Sandstein abgerieben, wie bei den Parallelepipeden obiger Versuche.

Das erste Modell besteht aus einem Bogen im vollen Halbkreis von **9** Zoll Durchmesser, der von zwei concentrischen, **21** Linien von einander entfernten Halbkreisen eingeschlossen und in **9** gleiche Gewölbsteine getheilt ist. Dieser Bogen, der **7** Linien dick ist, unterstützt oder trägt sich selbst auf Widerlagern von **2** Zoll **7** Linien Breite. Die anfängliche Breite derselben von **2** Zoll **10** Linien hat man nach und nach bis auf jene vermindert und dies war die geringste Breite für Widerlager, die den Bogen tragen sollten.

Erste Anwendung.

Dies Modell sey in Figur **5** vorgestellt.[1]) Wir bemerken:

1) Daß der Anfänger **I**, ruhend auf einer Horizontalfuge, nicht allein sich selbst unterstützt, sondern durch die Reibung auch noch einer Kraft widerstehen könnte, die der Hälfte seines Gewichtes gleich ist.

2) Daß der zweite Gewölbstein **M**, auf einer unter **20** Grad geneigten Fuge liegend, sich noch durch die Reibung erhält, und daß diese zwei Gewölbsteine vereinigt, vor dem Fortgleiten auf der Fuge **AB**, einer ihrem halben Gewicht gleichen horizontalen Kraft widerstehen würden.

3) Daß der dritte Gewölbstein **N**, ruhend auf einer Fuge von **40** Grad Neigung, abgleiten würde, wenn ihn nicht eine in entgegengesetzter Richtung wirkende Kraft **PN** zurückhielte.

4) Daß, wenn man nach unserer Hypothese die unter **30** Grad geneigte Ebene, auf welcher diese Steine sich im Gleichgewicht erhalten,

---

1) Das Modell, von dem hier die Rede ist, so wie diejenigen, welche bei den folgenden Anwendungen gebraucht wurden, machen gegenwärtig einen Theil der Modellsammlung der königlichen Bauschule aus.

als Horizontalebene annimmt, die unter **40** Grad geneigte Fuge als eine Ebene von **10** Grad Neigung hinsichtlich der Hypothese für polirte Gewölbsteine betrachtet werden kann.

5) Daß sich findet, die horizontale Kraft, welche den Gewölbstein **N** auf seiner Fuge erhält, verhalte sich zu dessen Gewicht, wie der Sinus von **10** Grad zum Cosinus dieses Winkels, wie wir dies oben Seite **24**, Absatz **5**, und Seite **25**, Absatz **5**, gezeigt haben.

Da das fragliche Modell **9** Zoll oder **108** Linien Durchmesser und **21** Linien zwischen den zwei concentrischen Halbkreisen hat, so beträgt seine Stirnfläche **4257** Quadratlinien und mithin die Stirnfläche eines jeden der neun Gewölbsteine **473** Quadratlinien. Deuten wir nun das Gewicht eines jeden Steins durch diese Fläche an und nennen **P** die Horizontalkraft, so haben wir die Proportion **P : 473 = sin. 10° : cos. 10°** oder **P : 473 = 17365 : 98481**, woraus **P = 83 $^{1}/_{10}$** folgt.

Der vierte, auf einer unter **60** Grad geneigten Fuge liegende, Gewölbstein **O** kann als auf einer Fläche von **30** Grad Neigung ruhend betrachtet werden. Nennt man nun die horizontale Kraft, welche ihn auf seiner Fuge erhält, **Q**, so hat man **Q : 473 = sin. 30° : cos. 30° = 50000 : 86603**, woraus sich **Q = 273 $^{3}/_{10}$** ergiebt.

Der halbe Schlußstein, auf einer Fuge von **80** Grad Neigung ruhend, wird angesehen, als liege er auf einer unter **50** Grad geneigten Fläche. Seine Stirnfläche, welche sein Gewicht vorstellt, ist **236 $^{1}/_{2}$**. Wird die horizontale Kraft, die ihn auf seiner Fuge erhält, **R** genannt, so hat man **R : 236 $^{1}/_{2}$ = sin. 50° : cos. 50° = 76604 : 64279**, woraus **R = 281 $^{9}/_{10}$** folgt.

Um zu erfahren, ob die Summe der Horizontalkräfte, welche die zwei Gewölbsteine **N**, **O** und den halben Schlußstein auf ihren Fugen erhalten, hinreichend wäre, den ersten Gewölbstein auf seiner Horizontalfuge **AB** zurückzuschieben, stellte ich das halbe Gewölbe auf eine horizontale Unterlage von derselben Steinart ohne Widerlager und fand, daß dazu eine Horizontalkraft von mehr als **16** Unzen nöthig war, während man nur **10** Unzen bedurfte, um den halben Schlußstein und die beiden Gewölbsteine **N**, **O** zu unterstützen. Die beiden vereinigten halben Gewölbe trugen ein Gewicht von **5** Pfund **2** Unzen, bevor die ersten Gewölbsteine zu weichen anfingen.

Um die Wirkung eines jeden dieser Gewölbsteine zu finden, wenn das Gewölbe auf Widerlagern ruhte, fällte ich von den Schwerpunkten

N, O, S derselben die Vertikallinien Nn, Oo, Ss, wodurch ich die Hebelsarme der Kräfte P, Q, R bekam, welche jene Steine in ihrer Lage erhielten und das Widerlager, auf dem das halbe Gewölbe ruhte, um seinen Stützpunkt T zu drehen strebten. Dies giebt zur ganzen Wirkung

$$P \cdot Nn + Q \cdot Oo + R \cdot Ss.$$

Setzt man die Höhe des Widerlagers 195 Linien, so findet man

$$Nn = 244{,}94,$$
$$Oo = 256{,}26,$$
$$\text{und } Ss = 260{,}50;$$

daher

$$P \cdot Nn = 83{,}4 \cdot 244{,}94 = 20427{,}996;$$
$$Q \cdot Oo = 273{,}3 \cdot 256{,}26 = 70035{,}858;$$
$$R \cdot Ss = 281{,}9 \cdot 260{,}50 = 73434{,}950;$$

---

also die ganze Wirkung in Bezug auf den Stützpunkt . . . . . 163898,804.

Das Widerlager widersteht dieser Wirkung: 1) durch sein Gewicht oder seine Stirnfläche, multiplicirt mit seinem, durch den Abstand Tu ausgedrückten Hebelsarm, d. h. mit der Entfernung des Stützpunktes T von der durch den Schwerpunkt G des Widerlagers gehenden Vertikallinie.

2) Durch das Gewicht des Gewölbes, multiplicirt mit dem Hebelsarm VY, der durch die Vertikale LY durch den Schwerpunkt L des halben Gewölbes bestimmt wird. In Bezug auf den gemeinschaftlichen Stützpunkt T ist er VB + BY, wobei VB die Breite bezeichnet, welche das Widerlager haben muß, um der Wirkung des gesuchten halben Gewölbes zu widerstehen, BY aber den Abstand des Schwerpunktes des halben Gewölbes vom Widerlager ausdrückt. Dieser Abstand wird hier als bekannt angesehen, weil er durch das Seite 16, Absatz 3 angegebene Verfahren bestimmt werden kann.

Um die Breite des Widerlagers zu erhalten, bezeichne p die Wirkung des Gewölbes, welche wir = 163898,804 gefunden haben.

Die Höhe des Widerlagers sey . . . . . a.
Seine gesuchte Breite . . . . . x.
Das Gewicht des halben Gewölbes . . . . b.
Der Theil BY seines Hebelarms . . . . . c.

Die Stirnfläche des Widerlagers, welche sein Gewicht vorstellt, multiplicirt mit seinem Hebelsarme, ist $ax \cdot \frac{x}{2} = \frac{ax^2}{2}$.

Die Stirnfläche des halben Gewölbes, multiplicirt mit dessen, durch VB + BY oder x + c bezeichneten Hebelsarme, ist bx + bc. Hieraus ergiebt sich die Gleichung

$$p = \frac{ax^2}{2} + bx + bc,$$

die nun aufzulösen ist.

Eine Gleichung kann als eine Art Wage betrachtet werden, die aus gleichen Größen besteht, welche durch das, jene Bedingung ausdrückende Zeichen = getrennt sind. Bringt man die Glieder, welche x enthalten, auf eine Seite, so hat man $\frac{ax^2}{2} + bx = p - bc$ und hieraus durch Division mit $\frac{a}{2}$, $x^2 + \frac{2bx}{a} = \frac{2p - 2bc}{a}$, worin x in der zweiten Potenz vorkommt. Macht man die linke Seite der Gleichung durch Hinzufügung des Quadrats der Hälfte von $\frac{2b}{a}$ zum vollkommenen Quadrat und addirt dieses Quadrat $\frac{b^2}{a^2}$ auch auf der rechten Seite, um die Gleichheit auf beiden Seiten nicht zu stören, so hat man $x^2 + \frac{2bx}{a} + \frac{b^2}{a^2} = \frac{2p - 2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}$, woraus durch Ausziehung der Quadratwurzel $x + \frac{b}{a} = \sqrt{\left(\frac{2p - 2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)}$ und also

$$x = \sqrt{\left(\frac{2p - 2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b}{a}$$

folgt, in welcher Gleichung x durch lauter bekannte Größen ausgedrückt ist. Substituirt man die Zahlenwerthe dieser Größen, so ergiebt sich

$$x = \sqrt{\left(\frac{163898{,}804 \cdot 2 - 22128 \cdot 12\frac{1}{2}}{195} + \frac{2128}{195} \cdot \frac{2128}{195}\right)} - \frac{2128}{195},$$

woraus $x = 28\frac{1}{4}$ Linien, statt der 2 Zoll 7 Linien folgt, welche man den Widerlagern gelassen hat, damit sie eine Stabilität gewähren, die ein wenig über dem Gleichgewicht ist.

Zweite Anwendung, wobei die Reibung auf eine andere Art angegeben wird.

Um einen neuen Beweis von der Richtigkeit unserer Hypothese zu haben, wollen wir jetzt auf dasselbe Modell die von Bossut, Mitglied des Instituts, in seinem **Traité de mecanique, articles 329** und **330** der Ausgabe von **1775**, und **272** und **273** der Ausgabe von **1802** vorgeschlagene Methode anwenden.

Der Gewölbstein **N**, Figur **6**, liege auf einer geneigten Ebene und werde darauf durch eine in horizontaler Richtung wirkende Kraft **Q** erhalten. Die durch den Schwerpunkt **N** gezogene Vertikale **Nn** drücke das Gewicht des Steins aus; man zerlege dasselbe in zwei Kräfte, deren eine **Ne** mit der geneigten Ebene parallel und die andere **Na** senkrecht darauf ist. Eben so werde die durch **QN** vorgestellte Kraft **Q** in zwei Kräfte zerlegt, von denen die eine **Nf** mit der geneigten Fuge parallel, die andere **Ni** darauf senkrecht ist.

Nachdem wir hierauf die Fugenlinie **HG** verlängert, eine Horizontale **GI** und die Vertikale **HI** gezogen haben, betrachten wir die Linie **HG** als eine geneigte Ebene mit der Höhe **HI** und der Basis **IG**. Dies vorausgesetzt, verhält sich die Kraft **Ne**, womit der Gewölbstein zu fallen strebt, zu seinem Gewicht, wie die Höhe **HI** der schiefen Ebene zu ihrer Länge **HG**. Bezeichnet daher **p** das Gewicht des Steins, so ist $Ne = p \cdot \frac{HI}{HG}$; und die Kraft **Na**, welche auf die Ebene drückt, verhält sich zum Gewicht **p**, wie die Grundlinie **IG** zur Länge, so daß also $Na = p \cdot \frac{IG}{HG}$ ist.

Betrachten wir eben so die zwei Seitenkräfte der Kraft **Q**, welche den Stein auf der Fuge zurückhält, so ergiebt sich die damit parallele Kraft $Nf = Q \cdot \frac{IG}{HG}$ und die darauf senkrechte Kraft $Nd = Q \cdot \frac{IH}{HG}$. Die Summe der Kräfte **Na** und **Nd**, welche die Fuge drücken, ist daher $p \cdot \frac{IG}{HG} + Q \cdot \frac{IH}{HG}$, und da der Stein erst bei **30** Grad Neigung der Fuge fortzugleiten anfängt, so verhält sich die Reibung zum Druck wie der Sinus von **30** Grad zum Cosinus von **30** Grad, also sehr nahe wie **500 : 866**; sie ist also $^{500}/_{866}$ des Drucks. Bezeich-

nen wir dies Verhältniß mit n, so wird die Reibung ausgedrückt durch

$$\left(p \cdot \frac{IG}{HG} + Q \cdot \frac{IH}{GH}\right) \cdot n.$$

Da die Reibung den Stein am Fortgleiten auf der Fuge hindert, so hat man im Zustande des Gleichgewichts die Kraft Nf gleich der Kraft Ne weniger der Reibung; dies giebt folgende Gleichung:

$$Q \cdot \frac{IG}{HG} = p \cdot \frac{HI}{HG} - \left(p \cdot \frac{IG}{HG} + Q \cdot \frac{IH}{GH}\right) \cdot n,$$

hieraus $Q \cdot IG = p \cdot HI - (p \cdot IG + Q \cdot IH) \cdot n,$

ferner $Q \cdot IG = p \cdot HI - p \cdot IG \cdot n - Q \cdot IH \cdot n,$

sodann $Q \cdot IG + Q \cdot IH \cdot n = p \cdot HI - p \cdot IG \cdot n,$

oder $Q\,(IG + IH \cdot n) = p\,(HI - IG \cdot n)$

also $$Q = p \cdot \frac{HI - n \cdot IG}{IG + n \cdot IH},$$

welche Formel für jeden Gewölbstein gelten kann, wenn man statt der Buchstaben ihre Zahlenwerthe substituirt.

Für den dritten Gewölbstein N, Figur 5, der auf einer unter 40 Grad geneigten Ebene liegt, ergibt sich z. B. aus dieser Formel folgendes Resultat. HI stellt den Sinus der Neigung vor und ist 643, der durch IG vorgestellte Cosinus ist 766; der durch n bezeichnete Ausdruck der Reibung ist $^{500}/_{866}$ oder, reducirt, $^{15}/_{26}$; das Gewicht des Steins, ausgedrückt durch seine Stirnfläche, ist 473. Werden diese Zahlen in die Formel gesetzt, so ergiebt sich $Q = 473 \cdot \frac{643 - {}^{15}/_{26} \cdot 766}{766 + {}^{15}/_{26} \cdot 643} = 83{,}6$ als Ausdruck der horizontalen Kraft P, welche den Gewölbstein N auf seiner Fuge im Gleichgewicht erhält. Oben haben wir durch eine einfachere Operation 83,4 erhalten.

Die nämliche Formel $Q = p \cdot \frac{HI - n \cdot IG}{IG + n \cdot HI}$ giebt für den Gewölbstein M, der auf einer Fuge von 60 Grad Neigung liegt, wozu der Sinus 866 und der Cosinus 500 gehört, $Q = 473 \cdot \frac{866 - {}^{15}/_{26} \cdot 500}{500 + {}^{15}/_{26} \cdot 866} = 273{,}4$ statt der Zahl 273,3, welche durch obiges Verfahren gefunden wurde.

Für den halben Schlußstein, der auf einer Fuge von 80 Grad Neigung liegt, ist $p = 236\,{}^{1}/_{2}$, der Sinus $HI = 985$, der Cosinus $IG = 174$, der Ausdruck der Reibung $^{15}/_{26}$, mithin $Q = 236\,{}^{1}/_{2} \cdot$

$\frac{985 - {}^{15}/_{26} \cdot 174}{174 + {}^{15}/_{26} \cdot 985} = 282{,}2$ statt der durch die andere Methode gefundenen Zahl **281,9**. Die kleinen Unterschiede in den Resultaten können von der Weglassung der zwei letzten Ziffern der Sinus und Cosinus, so wie von einigen vernachlässigten Bruchresten herrühren.

Multiplicirt man diese Werthe der Kräfte, welche die Gewölbsteine auf ihrem Lager im Gleichgewicht erhalten, mit ihren Hebelsarmen, welche die nämlichen wie oben sind, so hat man:

für den Gewölbstein . . . **N**, **83,6 · 244,94 = 20476,98**;
für den Gewölbstein . . . **O**, **273,4 · 256,26 = 70061,48**;
für den halben Schlußstein . **S**, **282,2 · 260,50 = 73313,10**;

also für die Gesammtwirkung in Bezug auf den Stützpunkt **T** . . . . . **163851,56**.

Substituirt man diesen Werth für **p** in die Formel

$$x = \sqrt{\left(\frac{2p - 2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b}{a},$$

(Seite **248**) und eben so für die andern in dieser Formel vorkommenden Buchstaben ihre Werthe, welche dieselben sind, wie oben, so hat man

$$x = \sqrt{\left(\frac{163851{,}56 \cdot 2 - 2 \cdot 2128 \cdot 12\,{}^1/_2}{195} + \frac{2128}{195} \cdot \frac{2128}{195}\right)} - \frac{2128}{195},$$

woraus $x = 28{,}16$ Linien, statt der durch die vorhergehende Methode gefundenen $28\,{}^1/_4$ Linien für die Breite der Widerlager folgt.

Dritte Anwendung auf ein Modell eines flachen oder scheitrechten Gewölbes.

Das zweite Modell, auf das wir die zwei vorhergehenden Methoden angewendet haben, ist ein scheitrechtes Gewölbe, Figur **4**, von derselben Steinart; es hat **9** Zoll Spannung zwischen den Widerlagern, die Decke ist **21** Linien hoch auf **18** Linien Dicke und ist in neun Steine getheilt, deren Fugen nach einem und demselben Mittelpunkte laufen. Zur Bestimmung der Fugen wurde auf der Stirnfläche die Diagonale **FG** gezogen, in ihrem an das Widerlager stoßenden Ende die Senkrechte **FO** auf sie bis zum Durchschnitt **O** mit der Mittellinie errichtet. Nach diesem Durchschnitte laufen alle Fugen. Die Fugen der Widerlager, auf denen die Decke ruht, schließen mit der mittleren Vertikalen Winkel von **21** Grad **15** Minuten und mit der Horizontalen **FN** von **68** Grad **45** Minuten ein.

Indem wir für jeden Stein des halben scheitrechten Gewölbes wie bei den Gewölbsteinen des vorigen Bogens verfuhren, fanden wir, daß, um den ersten Stein A auf der unter 68 Grad 45 Minuten geneigten Fuge zu erhalten, eine in horizontaler Richtung wirkende Kraft nöthig ist von 217,50;
für den zweiten B 254,33;
für den dritten C 298,75;
für den vierten D 354,66;
für den halben Schlußstein 212,83;

in Allem 1338,07.

Da die Widerlager bis an die Decke 195 und bis an den Rücken derselben 216 Linien hoch sind, so folgt daraus, daß der allen Steinen der Decke gemeinschaftliche Hebelsarm 206 1/3 ist. Dies giebt für die in der Formel (Seite 248) $x = \sqrt{\left(\frac{2p - 2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{a}{b}$ durch p bezeichnete Wirkung des Drucks $1338{,}07 \cdot 206{,}33 = 276084$.

b bezeichnet die Stirnfläche der halben Decke und ist 1219 1/2;

c bezeichnet den Abstand ihres Schwerpunktes von der Vertikalen Fn und ist 24, so wie a = 216 die Höhe der Widerlager ist. Werden diese Werthe in obige Formel gesetzt, so erhält man

$$x = \sqrt{\left(\frac{276084 \cdot 2 - 2 \cdot 1219\,{}^1/_2 \cdot 24}{216} + \left(\frac{1219\,{}^1/_2}{216}\right)^2\right)} - \frac{1219\,{}^1/_2}{216}$$

$= 42\,{}^1/_2$ Linien. Der Versuch giebt 44 Linien für die geringste Breite der Widerlager, auf denen das fragliche Modell sich selbst unterstützt; aber man muß sich dessen erinnern, was wir im 2. Bd. S. 133 und 134 bei Gelegenheit des Steinschnitts dieser Art von Gewölben gesagt haben, nämlich: daß, da die Fugenschnitte nicht auf der innern Fläche senkrecht seyn können, die Wirkungen der Steine einander nicht correspondiren und diese daher unrichtig auf einander drücken, wie dies die auf den Fugen, welche den Druck erleiden, senkrechten Linien Fa, 1c, 2e und 3g zeigen; so daß ein dergleichen Gewölbe sich nicht tragen kann, wenn nicht die Senkrechte FG ganz in der Dicke des Gewölbes liegt. Diese Gewölbe sind nur dann solid, wenn sie einen Bogen einschließen können, dessen Dicke dem Schnitt IF an den Widerlagern gleich ist, wie dies Figur 7 bis zeigt.

Zweiter Artikel. — Neue Bemerkungen über die Art, wie die Gewölbsteine wirken, um sich zu unterstützen.

Es sey **AHCDNB**, Figur **10**, ein halbes Tonnengewölbe, das aus einer großen Menge Gewölbsteine besteht, die ohne Reibung auf einander wirken und sich bloß durch die gegenseitigen Wirkungen unterstützen, die sie auf einander äußern. Es muß hieraus folgen:

1) Daß der erste, durch die Linie **AB** vorgestellte, Gewölbstein, dessen Fugen als parallel und horizontal anzusehen sind, mit seinem ganzen Gewichte nach der Richtung der Vertikalen **EF** zur Befestigung des Widerlagers wirkt.

2) Daß der vertikale, den Schlußstein vorstellende, Gewölbstein **CD**, dessen Fugen ebenfalls ohne Nachtheil als parallel angesehen werden können, mit seinem ganzen Gewicht nach horizontaler Richtung wirkt, um die zwei Halbgewölbe und ihre Widerlager umzustürzen.

3) Daß alle andere, zwischen diesen Extremen befindliche Gewölbsteine mit den Kräften **Gn**, **nm**, **ml**, **lK**, **Kh**, **hg**, **gf**, **fT** wirken, deren jede in zwei andere, eine horizontale und eine vertikale, zerlegt werden kann. So kann z. B. die Kraft **Kh** als das Resultat der vertikalen **4h** und der horizontalen **4K** betrachtet werden.

4) Daß die Vertikalkräfte der Gewölbsteine von **T** nach **G** hin mehr und mehr abnehmen, so daß die vertikale Wirkung des Schlußsteins **CD** Null wird, während umgekehrt die horizontalen Wirkungen in derselben Ordnung größer werden, dergestalt, daß bei dem in der Mitte befindlichen Gewölbstein **HN** die horizontale und vertikale Wirkung einander gleich sind.

5) Daß in halbkreisförmig gekrümmten, überall gleich dicken Gewölben, der durch die Schwerpunkte der Gewölbsteine gehende Halbkreis die Summe aller zusammengesetzten oder gemischten Wirkungen vorstellen kann, welche die Gewölbsteine zu ihrer gegenseitigen Unterstützung ohne Hinderniß durch ihr Gewicht auf einander äußern.

6) Daß, wenn man durch den Punkt **T** eine vertikale und durch **G** eine horizontale Linie zieht, bis sich beide im Punkt **F** schneiden, die Linie **TF** die Summe der vertikalen, zur Befestigung der Widerlager beitragenden Kräfte, die Horizontale **FG** aber die Summe aller horizontalen Kräfte, welche das Widerlager umzustürzen streben, vorstellen kann.

7) Daß, wenn man durch den Punkt **K** eine horizontale Linie **IKL** zwischen den Parallellinien **FT** und **CO** zieht, der Theil **IK** die

Summe der horizontalen Wirkungen des unteren Gewölbtheils **AHNB**, und **KL** die der horizontalen Wirkungen des oberen Theils **HCDN** des Gewölbes vorstellen kann.

8) Da die unteren, zwischen **T** und **K** liegenden Gewölbsteine ihren vertikalen Wirkungen nachgeben müssen, so wird der Theil **AHNB** des Gewölbes, indem er sich um den Punkt **B** dreht, nach innen zu fallen streben, während die oberen, zwischen **K** und **G** befindlichen Gewölbsteine, ihren horizontalen Wirkungen nachzugeben genöthigt, veranlassen, daß der Gewölbetheil **HCDN** den unteren Theil zurückzudrücken und um den Punkt **A** zu drehen strebt.

9) Da die durch **KL** bezeichneten und von **L** gegen **K** gerichteten horizontalen Wirkungen des oberen Gewölbetheils und die durch **IK** bezeichneten, nach entgegengesetzter Richtung wirkenden Kräfte des unteren Theils, einander grade entgegen wirken, so würden sie sich aufheben, wenn sie gleich wären, und das Gewölbe würde in diesem Falle keinen Druck ausüben; da sie aber immer ungleich sind, so ist es der Unterschied dieser Wirkungen, welcher den Druck verursacht und welcher nach der Richtung der größeren Kraft wirkt.

10) Wenn man sich denkt, daß die Breite **BO** eines halben Gewölbes fortwährend abnähme, während seine Höhe unverändert bliebe, so würde sich die Summe der horizontalen Wirkungen in demselben Verhältniß vermindern, dergestalt, daß, wenn die Punkte **B** und **O** zusammenfielen, die horizontale Kraft vernichtet wäre und nur die vertikale übrig bliebe, welche allein auf das Widerlager wirkte und zu seiner Festigkeit beitrüge; es würde kein Druck mehr vorhanden seyn, weil das Ganze nun ein fortgesetztes Widerlager wäre.

11) Verminderte sich im Gegentheil bei unveränderter Breite fortwährend die Höhe **OD**, so würde endlich die krumme Linie **BD** mit der geraden **BO** zusammenfallen, und das Gewölbe würde eine horizontale Decke werden. In diesem Falle würden die zur Befestigung des Widerlagers beitragenden vertikalen Wirkungen ganz vernichtet und zur Unterstützung dieses Gewölbes würden nur die horizontalen, mit dem ganzen Gewicht des Gewölbes wirkenden Kräfte bleiben. Hieraus folgt, daß diese Art von Gewölben am meisten drückt, und daß die kreisförmig gekrümmten Tonnengewölbe die Mitte halten, zwischen Gewölben ohne Druck und den scheitrechten, deren Druck unendlich groß seyn würde, wenn ihre Steine ungehindert an einander

fortgleiten könnten, und wenn die Fugen senkrecht auf der innern Fläche wären, wie bei den andern Gewölben.

12) Wir haben schon oben von den Nachtheilen gesprochen, die davon herrühren, daß die Fugen eines scheitrechten Gewölbes alle nach einem Mittelpunkte laufen müssen; denn wenn die Steine eben so frei fortgleiten könnten, wie sie nur unrichtig auf einander zu wirken vermögen, so könnten ihre Wirkungen sich niemals weder das Gleichgewicht halten, noch einander aufheben.

13) Eine sehr große Anzahl Versuche, die ich mit 54 Gewölbmodellen von verschiedener Krümmung und Einrichtung des Rückens, von gleicher und ungleicher Theilung der an Zahl gerader oder ungerader Gewölbsteine, haben mir gezeigt, daß die Steine, aus denen die Gewölbe bestehen, mehr als Hebel denn als Keile oder Körper wirken, die auf einander fortgleiten.

14) Sind die Widerlager zu schwach, als daß sie den Wirkungen der Gewölbsteine widerstehen könnten, so vereinigen sich gleichsam mehrere Steine und bilden nur eine Masse, welche sich um den Punkt zu drehen strebt, der demjenigen entgegengesetzt ist, wo sich die Fuge öffnet.

15) Die in eine grade Anzahl Gewölbsteine eingetheilten Gewölbe haben mehr Druck, als wenn die Anzahl der Steine ungrad ist.

16) Bei einer ungraden und ungleichen Theilung in Gewölbsteine haben die Gewölbe desto weniger Druck, je größer der Schlußstein ist, dergestalt, daß der größte Druck dann stattfindet, wenn eine Fuge gerade in der Mitte statt eines Schlußsteins vorhanden ist, wie bei Gewölben, die grad getheilt sind.

17) Ein Gewölbe im vollen Bogen, das in vier gleiche Theile getheilt ist, hat mehr Druck, als ein anderes in neun gleiche Gewölbsteine getheiltes.

18) Die über den vollen Bogen erhöhten Gewölbe haben weniger Druck, als bei gleicher Spannung, gleicher Form des Rückens und gleicher Theilung ein Gewölbe im vollen Halbkreis.

19) Der Druck der Gewölbe nimmt nicht im Verhältniß ihrer Dicke zu, so daß also unter sonst gleichen Umständen ein Gewölbe von doppelter Dicke nicht den doppelten Druck hat.

20) Ein überall zu gleicher Dicke abgeglichenes Gewölbe im vollen Bogen, das in vier gleiche Theile getheilt ist, kann sich nicht tragen, wenn seine Dicke weniger als den achtzehnten Theil seines Durch-

messers beträgt, wie groß auch der Widerstand der Widerlager seyn mag und selbst dann nicht, wenn gar keine Widerlager vorhanden sind.

21) Wenn die gerade Linie, welche bei einem zu gleicher Dicke abgeglichenen Gewölbe vom äußeren Stützpunkt nach der Mitte des Schlußsteinrückens gezogen wird, Figur 9, ganz in die Dicke des Halbgewölbes fällt, so erfolgt nie ein Bruch in der Mitte der Gewölbewinkel, wenn anders die Widerlager dieselbe Dicke haben, als das Gewölbe unten.

22) Gewölbe, deren Dicke von unten nach dem Scheitel abnimmt, haben weniger Druck, als wenn die Dicke überall dieselbe wäre.

23) Gedrückte Gewölbe und Gewölbe im vollen Bogen, welche in einer geraden Horizontallinie abgeglichen sind, haben weniger Druck, als wenn sie auf irgend eine andere Art abgeglichen wären.

24) Wenn die Widerlager eines Gewölbemodells zu schwach sind, um dem Drucke zu widerstehen, so werden sie stark genug, wenn man mittelst einer Schnur, die durch eine Fuge in der Mitte der Gewölbewinkel geht, ein Gewicht anhängt, das dem doppelten Gewicht des Unterschiedes zwischen dem Druck und dem Widerstand eines Widerlagers gleich ist, oder durch ein Gewicht, das diesem Unterschied gleich ist und unterhalb jener Fuge angebracht wird, wie man in Figur 9 sieht. Auf dieser Eigenschaft beruht das System von Schließankern und Zugbändern des Haupt-Thors der Genovevenkirche, wie dies im 7. Buche des 3. Theils Seite 309 gesagt wurde.

Nach den hier angeführten Versuchen, so wie nach einer großen Anzahl anderer, welche hier mitzutheilen zu weitläufig seyn würde, und von denen jene die Resultate sind, haben wir eine allgemeine Formel zur Bestimmung der Dicke der Widerlager aller Arten von, zu gleicher Dicke abgeglichenen, Tonnengewölben entworfen, die Gestalt ihrer Krümmung mag seyn, welche sie will.

Verfahren zur Bestimmung der Formel.

Nachdem der mittlere Bogen GKT, Figur 10, 12, 13, 14, 15, beschrieben ist, zieht man in den Punkten G und T Tangenten daran, welche sich im Punkt F schneiden. Durch diesen Punkt wird hierauf eine Senkrechte auf jene Curve gezogen, deren Durchschnitt K damit diejenige Stelle anzeigt, wo die größte Wirkung und die davon

abhängige Trennung stattfindet, wenn die Dicke der Widerlager nicht hinreichend ist, um dem Drucke zu widerstehen.

Durch den Punkt K zieht man zwischen den Parallelen TF und GO die Horizontale IKL, welche die Summe der Horizontalen, und dann die Vertikale TF, welche die Summe der vertikalen Wirkungen ausdrückt; die mittlere Curve GKT bezeichnet dagegen die zusammengesetzten Wirkungen.

Da diese Gewölbe überall gleich dick sind, so drückt das Produkt des Theils IK der Horizontalen IKL mit der Dicke des Gewölbes die horizontale Wirkung des unteren Theils jeden Gewölbes, und KL, multiplicirt mit derselben Dicke, die Wirkung des oberen Theils aus.

Diese zwei Kräfte wirken in entgegengesetzter Richtung und sind einander gerade entgegengesetzt, heben sich demnach zum Theil auf. Trägt man daher IK auf KL von K nach m, so bezeichnet das Produkt der Differenz mL, mit der Dicke des Gewölbes multiplicirt, den Druck desselben.

Da diese Kraft im Punkt K nach der horizontalen Richtung KH wirkt, so wird ihr Hebelsarm durch die Senkrechte PH bestimmt, welche man aus dem Stützpunkt P des Widerlagers auf jene Richtung fällt, so daß also die Wirkung dieser Kraft durch $mL \cdot AB \cdot PH$ ausgedrückt wird.

Das Widerlager widersteht dieser Wirkung:

1) Durch sein Gewicht, vorgestellt durch seine Stirnfläche $EP \cdot PR$, multiplicirt mit seinem Hebelsarme PS, der durch den Perpendikel durch den Schwerpunkt bestimmt wird; der Ausdruck des Widerstandes des Widerlagers ist also $EP \cdot PR \cdot PS$.

2) Durch die Summe der Vertikalwirkungen des oberen, durch $MK \cdot AB$ ausgedrückten Theils jeden Gewölbes. Da diese Kraft im Punkt K wirkt, so ist KH ihr Hebelsarm in Bezug auf den Stützpunkt P des Widerlagers.

3) Durch die Summe der Vertikalwirkungen des unteren, durch $IT \cdot AB$ ausgedrückten Theils; da diese Summe im Punkt T wirkt, so ist ihr Hebelsarm TE. Für den Fall des Gleichgewichts hat man also:

$$mL \cdot AB \cdot PH = PE \cdot PR \cdot PS + MK \cdot AB \cdot KH + IT \cdot AB \cdot TE.$$

Da man aber in dieser Gleichung weder $PR = BE$, noch PS, KH und TE kennt, so muß man auf eine algebraische Gleichung zurückgehen, worin wir ausdrücken wollen

die Wirkung des durch mL · AB angezeigten Drucks durch . p,
die Höhe PE des Widerlagers durch . . . . . a,
EH = TI = KL = KV durch . . . . . d,
PH durch . . . . . a + d,
EB = PR durch . . . . . x,
PS durch . . . . . $\frac{x}{2}$,
die Summe der Vertikalwirkungen des oberen Theils MK · AB
durch . . . . . m,
die der Wirkungen des unteren Theils IT . AB durch . . . n,
den Theil iK der Horizontalen IKL durch . . . . . c,
TB, gleich der halben Dicke des Bogens, durch . . . . . e,
den Hebelsarm TE durch . . . . . x — e.

Aus obiger Gleichung wird daher

$$p\,(a + d) = \frac{axx}{2} + m\,(c + x) + n\,(x - e)$$

$$\text{oder}\quad pa + pd = \frac{axx}{2} + mc + mx + nx - ne$$

$$\text{und hieraus}\quad xx + \frac{2\,(m + n)\,x}{a} = 2p + \frac{2pd + 2ne - 2mc}{a},$$

woraus, wenn man $m + n = b$ setzt und die linke Seite zum vollkommenen Quadrat macht,

$$xx + \frac{2bx}{a} + \frac{bb}{aa} = 2p + \frac{2pd + 2ne - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}$$

folgt. Wird nun die Quadratwurzel auf beiden Seiten ausgezogen, so ergiebt sich

$$x + \frac{b}{a} = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd + 2ne - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)}$$

und mithin

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd + 2ne - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}.$$

Diese letzte Gleichung ist eine Formel zur Bestimmung der Dicke der Widerlager aller Arten gleich dicker Tonnengewölbe. Um eine Anwendung davon zu machen, wollen wir als erstes Beispiel das Modell eines gleich dicken, durch Figur 12 vorgestellten Bogens im vollen Zirkel nehmen.

Dieser Bogen hat 36 Zoll 3 Linien Durchmesser und 3 Zoll Dicke zwischen den beiden concentrischen Kreisbogen. Er ist durch eine

Vertikalfuge in der Mitte und zwei andere von **45** Grad Neigung in vier gleiche Theile getheilt. Seine Widerlager haben **40** Zoll **4** Linien Höhe. Zieht man auf der Zeichnung dieses Modells oben erwähnte Linien und nimmt die Maße mit der größten Genauigkeit bis auf Tausendtheile eines Zolles, so findet man, daß

PE, in der Formel mit **a** bezeichnet, gleich ist . . . **40,333.**

EH = TI = KL = KV, mit **d** bezeichnet, ist . . . **13,876.**

ML · AB, den durch **p** bezeichneten Druck vorstellend,
ist **8,127 · 3** . . . . . **= 24,381.**

2p . . . . . **= 48,762.**

2pd = 48,762 · 13,876 . . . . . **= 676,621.**

2MK · AB · KH, mit **2Mc** bezeichnet, ist **5,749 · 3 · 4,249** **= 73,282.**

2ne, IT · AB · AB vorstellend, ist **13,876 · 3 · 3** . **= 124,824.**

$b = m + n = (MK + IT) \cdot AB = 19{,}625 \cdot 3$. **= 58,875.**

$a = EP$, Höhe des Widerlagers, ist **40,333**, mithin

$$\frac{b}{a} = \frac{58{,}875}{40{,}333} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 1{,}459,$$

und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . **= 2,128.**

Durch Substitution dieser Werthe in die Formel

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd + 2ne - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

erhält man

$$x = \sqrt{\left(48{,}762 + \frac{676{,}621 + 124{,}824 - 73{,}282}{40{,}333} + 2{,}128\right)} - 1{,}459,$$

woraus $x = 5{,}8$ Zoll oder **5** Zoll **9** $^1/_2$ Linien für die Dicke derjenigen Widerlager folgt, deren Widerstand, bei einer vollkommenen Ausführung des fraglichen Bogens, mit dessen Druck im Gleichgewicht seyn würde; da es aber nicht möglich ist, diesen Grad von Vollkommenheit zu erreichen, obgleich das Modell mit vieler Genauigkeit angefertigt ist, so fängt es erst an, sich zu tragen, wenn die Dicke der Widerlager **6** Zoll **3** Linien beträgt.

Ist diese Dicke **7** $^1/_2$ Zoll, so trägt der Bogen an seinem Scheitel, grade über der Vertikalfuge, welche ihn in zwei gleiche Theile theilt, ein Gewicht von **3** Pfund, welches gleichbedeutend mit **8** Zoll Zusatz zur Stirnfläche der oberen, den Druck verursachenden Theile ist und

daher den Werth 2p der Formel auf 56,762 statt 48,762 bringt. Die Formel wird dadurch zu

$$x = \sqrt{\left(56{,}762 + \frac{787{,}629 + 124{,}828 - 86{,}458}{40{,}333} + 2{,}430\right)} - 1{,}55,$$

woraus x = 7,366 oder 7 Zoll 3 1/3 Linien folgt. Es ist nicht möglich, mehr Uebereinstimmung zwischen der Theorie und dem Versuche zu erhalten.

Andere Methode, der vorhergehenden zum Beweise dienend.

Nachdem ich bemerkt hatte, daß in Gewölbmodellen von einer graden Anzahl Gewölbsteine bei zu schwachen Widerlagern die mittlere Fuge sich nach unten, dagegen eine Fuge in der Mitte der Gewölbewinkel sich nach oben öffnet, wie dies Figur 11 vorstellt, wollte ich auf diese Thatsache die Theorie der Prismen anwenden, welche umfallen wollen oder durch eine Kraft umgeworfen werden.

Ich nahm das vorhergehende Modell und sah anfangs den halben Bogen mit seinem Widerlager vereinigt als ein ein-einziges Stück an. Es ist klar, daß, da das halbe Gewölbe unter dieser Voraussetzung auf einer horizontalen Ebene ruht, die Vertikale durch den Schwerpunkt außerhalb des Unterstützungspunktes R fällt, und daß demnach das Gewölbe nur durch eine Kraft G verhindert werden kann, sich um den Punkt R zu drehen und umzufallen. Vereinigt man aber zwei gleiche Halbgewölbe der Art in entgegengesetzter Richtung, so sind ihre Wirkungen einander gleich und entgegengesetzt, und das ganze Gewölbe wird sich unterstützen.

Betrachtet man hierauf das Gewölbe als aus vier, auf den Widerlagern ruhenden Theilen bestehend, so ist gewiß, daß es sich nur in dem Falle tragen kann, in welchem die Wirkung der oberen Theile nicht größer ist, als diejenige, welche jeden halben Bogen, für sich betrachtet, um seinen Stützpunkt R zu drehen strebt. Dies vorausgesetzt und vom Schwerpunkte G des oberen Gewölbsteins die Vertikale Gg, so wie von dem als Stützpunkt betrachteten Punkt N die Horizontale Ng und die Vertikale Nn gezogen, läßt sich das Gewölbe ansehen, als strebe es umzufallen und sey unterstützt durch eine horizontale Kraft P, die an dem Ende des Hebelarms Nn wirkt. Wir haben bereits gezeigt, daß im Falle des Gleichgewichts das Produkt

des Gewichts des Gewölbsteins in den Hebelsarm Ng dem Produkt aus der Kraft P in den Hebelsarm Nn gleich seyn muß. Bezeichnet Q das Gewicht des Gewölbsteins, so muß also $Q \cdot Ng = P \cdot Nn$ seyn, woraus $P = \frac{Q \cdot Ng}{Nn}$ folgt.

Zur Bestimmung dieses Werthes von P muß man, abgesehen von der Stirnfläche des Steins, welche sein Gewicht vorstellt, die Lage seines Schwerpunktes kennen. Nachdem, was wir Seite 16 Absatz 4 hierüber gesagt haben, muß man zu dem Ende:

1) den Schwerpunkt des großen Ausschnitts CHO, worin der Gewölbstein liegt, eben so

2) den Schwerpunkt des kleinen Ausschnitts DNO suchen,

3) die Fläche eines jeden dieser Ausschnitte mit dem Abstande des zugehörigen Schwerpunkts vom Mittelpunkte O multipliciren,

4) das kleinere Produkt vom größeren abziehen und den Rest durch die Fläche des Gewölbsteins dividiren. Der hierdurch erhaltene Quotient ist die Entfernung des Schwerpunktes des Gewölbsteins vom Mittelpunkt O.

Auf Seite 15 haben wir gesagt, daß man zur Bestimmung des Schwerpunktes eines Ausschnitts den doppelten Halbmesser mit der Sehne multipliciren und das Produkt durch den dreifachen Kreisbogen dividiren muß.

In unserem Falle ist der Radius des großen Ausschnitts 21,125,
die Sehne 16,168,
der Bogen 16,600,
mithin ist der Abstand des Schwerpunktes vom Mittelpunkt

$$O = \frac{21{,}125 \cdot 2 \cdot 16{,}168}{16{,}600 \cdot 3} = 13{,}72.$$

Der Halbmesser des kleinen Ausschnitts ist . . . 18,125,
die Sehne 13,870,
der Bogen 14,240,
mithin die Entfernung des Schwerpunktes vom Centrum

$$= \frac{18{,}125 \cdot 2 \cdot 13{,}87}{14{,}24 \cdot 3} = 11{,}77.$$

Das Produkt der Fläche des großen Ausschnitts in den Abstand seines Schwerpunktes vom Mittelpunkte O ist also

$\frac{16{,}60 \cdot 21{,}125}{2} \cdot 13{,}72 \ldots\ldots\ldots\ldots = 2404{,}63$

und für den kleinen Ausschnitt: $\frac{14{,}24 \cdot 18{,}125}{2} \cdot 11{,}77 = 1518{,}98$

also die Differenz 885,71,

welche das Moment des Gewölbsteins, d. h das Produkt aus seiner Stirnfläche in den Abstand seines Schwerpunktes vom Centrum O ausdrückt.

Da diese Stirnfläche dem Unterschiede der beiden Ausschnitte gleich ist, also **46,29** beträgt, so ist nun die gesuchte Entfernung des Schwerpunkts des Steins vom Mittelpunkt $= \frac{885{,}71}{46{,}29} = 19{,}13$.

Um den Abstand **Ng** des Stützpunktes **N** von der durch diesen Schwerpunkt gehenden Vertikalen zu erhalten, sucht man zuerst seine Entfernung von der Vertikalen **OC**, indem man schließt: wie sich der Sinustotus zum Sinus des Winkels **HOC**, der **22** Grad **30** Minuten beträgt, verhält, so verhält sich **19,13** zu einem vierten Gliede, welches dadurch gleich **7,32** gefunden wird.

Nun sucht man den Abstand des Punktes **N** von der Vertikalen **CO** durch die Proportion: **sint. : sin. 45° = 18,125 : x**, aus der sich **x** oder jener Abstand zu **12,81** ergiebt. Wird hiervon **7,32** abgezogen, so ist der Rest **5,49** die gesuchte Entfernung **Ng**, und diese Entfernung ist der Hebelsarm, an welchem das im Schwerpunkt vereinigt gedachte Gewicht des Steins wirkt.

Wird dieses Gewicht durch die Stirnfläche des Steins ausgedrückt, so hat man **46,29 · 5,49 = 254,13** als seine Wirkung. Da aber die Kraft im Punkt **C** wirken muß, so erhält man ihren Werth, in Bezug auf diesen Punkt, indem man **254,13** durch **Nn = 8,315** dividirt, wodurch **30,56** erhalten wird. Der Hebelsarm dieser im Punkt **C** wirkenden Kraft ist nun **40,333 + 21,125 = 61,458** und der Ausdruck ihrer Wirkung **30,56 · 61,458 = 1878,156**. Das mit dem halben Gewölbe beschwerte Widerlager widersteht: **1**) Durch sein Gewicht, welches durch seine Stirnfläche ausgedrückt und mit seinem Hebelsarme multiplicirt wird. **2**) Durch das auf gleiche Weise ausgedrückte Gewicht des halben Gewölbes, das ebenfalls mit seinem Hebelsarme multiplicirt wird. Dieser Hebelsarm ist die durch den Schwerpunkt bis auf die Höhe des Punktes **B** herabgelassene Vertikale. Er ergiebt sich für das halbe Gewölbe auf dieselbe Art, wie oben für den

oberen Gewölbstein und man findet dafür **7,135**. Da nun die Stirnfläche des Halbgewölbes **92,575** ist, so beträgt die Wirkung desselben **92,575 · 7,135 = 661,236**.

Um die Dicke des Widerlagers zu finden, muß man die, Seite **248**, angegebene erste Formel

$$x = \sqrt{\left(\frac{2p - 2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b}{a}$$

anwenden, in welcher **p** die Wirkung des Drucks bezeichnet, die wir hier gefunden haben zu **1878,156,**

b = 95,575

und **bc = 661,236.**

Werden diese Werthe in die Formel substituirt, so erhält man

$$x = \sqrt{\left(\frac{3756{,}313 - 1322{,}472}{40{,}333} + 5{,}24\right)} - 2{,}29,$$

woraus sich **x = 5,80**, also genau wie bei der vorhergehenden Methode ergiebt. Dies beweist die Richtigkeit der ersten, welche den Vortheil hat, weniger zusammengesetzt zu seyn und bei welcher man nicht die zur Bestimmung der Schwerpunkte erforderlichen, langen und schwierigen Operationen vorzunehmen braucht. Dagegen ist die zweite Methode bisweilen die einzige, von der man Gebrauch machen kann bei Gewölben von ungleicher Dicke, oder auch bei irregulären Gewölben, wie wir dies später noch sehen werden.

Zweite Anwendung.

Wir wollen jetzt das schon oben erwähnte, in Figur **5** vorgestellte, Modell von Liais zum Beispiel nehmen; es ist in neun gleiche Gewölbsteine getheilt, hat **9** Zoll inneren Durchmesser und ist durchaus auf **21** Linien Dicke abgeglichen.

Nachdem die angezeigten Linien gezogen sind, findet man **mL · AB**, in der Formel mit **p** bezeichnet, **26,7 · 21** . . . **= 560,70,**

also **2p** . . . . **= 1121,40,**

EH = TI = KL = KV, mit **d** bezeichnet, **= 45,60,**

mithin **2pd** . . . . **= 5113,584,**

2ne, die doppelte vertikale Wirkung des unteren Bogentheils, mit der Hälfte von **AB** multiplicirt, anzeigend, ist **45,6 · 21 · 21** . . . . . **= 20109,60,**

2mc, welches die doppelte vertikale Wirkung des oberen Theils, multiplicirt mit iK, anzeigt, ist **18,9 · 21 · 2 · 8,4 . = 6667,92.**

Da a, welches die Höhe des Widerlagers bezeichnet, gleich **195** und $b = m + n = (45{,}6 + 18{,}9) \cdot 21 =$ **1354,5** ist, so beträgt

$$\frac{b}{a} = \frac{1354{,}5}{195} \quad \ldots\ldots = 6{,}94$$

und

$$\frac{bb}{aa} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 48{,}163.$$

Alle diese Werthe in die Formel (Seite 258) gesetzt, geben:

$$x = \sqrt{\left(1121{,}40 + \frac{5113{,}584 + 20109{,}6 - 6667{,}92}{195} + 48{,}163\right)} - 6{,}94$$

$= 28{,}62$, also $28\,^2/_3$ Linien statt $28\,^1/_4$ Linien, welche wir durch die vorhergehenden Methoden gefunden haben.

Da wir zwei halbe Gewölbsteine gemacht und die andern an einander befestigt hatten, um einen in vier gleiche Theile getheilten Bogen zu erhalten, so konnte sich das Modell nur unterstützen, wenn die Dicke der Widerlager **30** Linien betrug, welches beweist, daß diese Art der Gewölbetheilung diejenige ist, welche den größten Druck hervorbringt, wie wir dies bereits Seite **255** Nr. **17** bemerkt haben.

Dritte Anwendung.

Das Modell, Figur **12**, an welchem wir diese Anwendung vornahmen, ist aus Stein von Conflans (**pierre de Conflans**); es bildet einen Theil der Bogensammlung, die ich von einerlei Durchmesser, gleicher Dicke und gleicher Höhe der Widerlager, jedoch verschieden an Krümmung und an Gestalt des Rückens, anfertigen ließ, um auf eine mehr unmittelbare Weise ihren Druck und die Art, wie sie wirken, vergleichen zu können.

Dies Modell im vollen Bogen hat **9** Zoll oder **108** Linien Durchmesser auf **9** Linien Dicke, ist in vier gleiche Theile getheilt und hat Widerlager von **10** Zoll oder **120** Linien Höhe.

Nachdem die in der Figur angezeigten Linien gezogen sind, findet man für den durch **mL · AB** vorgestellten und in der Formel durch p bezeichneten Werth des Drucks, **24,22 · 9**, welches giebt **217,98**

und für **2p** . . **435,96.**

EH = TI = KL = KV, durch d bezeichnet, giebt . . **41,36,**

mithin für **2pd** . . **18031,30.**

n, welches TI · AB bezeichnet, ist 41,36 · 9 . . . = 372,24,

$e = \frac{AB}{2}$ ist 4,5, mithin 2ne = 372,24 · 9 . . . = 3350,16.

m, welches KM · AB bezeichnet, ist 17,14 · 9 . . = 154,26

und da c, welches iK vorstellt, 12,64 ist, so ist 2mc =

308,5 · 12,64 . . . . . = 3899,69.

Da ferner a, die Höhe der Widerlager bezeichnend, 120 ist und b = m + n = 372,24 + 154,26 =

526,5 beträgt, so ist $\frac{b}{a} = \frac{526,5}{120}$ . . . . . = 4,387

und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . = 19,246.

Diese Werthe in die Formel (Seite 258)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd + 2ne}{a} - \frac{2mc}{} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

substituirt, geben

$$x = \sqrt{\left(435,96 + \frac{18031,30 + 3350,16 - 3899,69}{120} + 19,245\right)} - 4,387$$

und hieraus x = 20,123, also $20\,^1/_8$ Linien Dicke für die Widerlager, welche dem Drucke dieses Bogens widerstehen würden, wenn er vollkommen ausgeführt wäre; da aber, wie wir schon bemerkt haben, diese Vollkommenheit, wegen der unmerklichen, und selbst bei der größten Vorsicht unvermeidlichen Irregularitäten, so wie wegen der Natur der Steinart, woraus der Bogen besteht, deren Kanten nicht so gut tragen, als die des Liais, (diese Kanten sind an den Stützpunkten P, N und C, wo die Wirkungen statthaben, sehr wichtig), eben so unmöglich ist, als die genaue Schätzung der Wirkungen; so folgt daraus, daß dieses Modell, welches frisch bearbeitet und eingerichtet, $20\,^3/_4$ Linien dicke Widerlager nöthig hat, sich nur bei $21\,^1/_2$ Linien Dicke der Widerlager unterstützen kann, wenn die Kanten stumpf sind.

Man muß noch bemerken, daß wir in der so eben gemachten Anwendung den Bogen als auf den mittleren Kreisbogen TKG reducirt, betrachtet und folglich angenommen haben, er strebe, sich um den Punkt T zu drehen, während er sich doch, seiner Dicke wegen, wirklich nur um den Punkt B bewegen kann.

In der Anwendung unserer Formel muß man also iK statt IK von K nach m tragen, wodurch für den Werth mL · AB von p erhalten wird 28,72 · 9 = 258,48 und für 2p . . . 516,96;

da nun d immer = 41,36 ist, so wird 2pd . . 21381,46.

Betrachten wir nun den unteren Theil des Bogens als strebend, sich um den Punkt B zu drehen, so wird die vertikale Kraft IT nach iB versetzt, und TB, e vorstellend, wird alsdann Null; eben so also auch 2ne.

2mc wird stets seyn 3899,69,

eben so $\frac{b}{a}$ 4,387

und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . 19,245.

Hierdurch reducirt sich die Formel auf

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a},$$ mithin wird,

durch Einführung der Zahlenwerthe,

$$x = \sqrt{\left(516{,}93 + \frac{21381{,}46 - 3899{,}69}{120} + 19{,}245\right)} - 4{,}387,$$

woraus sich x = 20,14, also ungefähr $20^1/_7$ Linien ergiebt. Diese Art, die Anwendung zu machen, giebt ein etwas größeres Resultat und ist in der Praxis vorzuziehen.

Diese Anwendungen sind nur deßhalb so complicirt geworden, weil wir eine Dicke für die Widerlager finden wollten, bei welcher sie dem Drucke genau das Gleichgewicht halten. Da es aber der Festigkeit wegen durchaus nothwendig ist, daß der Widerstand größer sey, so ist es, um die Dicke der Widerlager zu erhalten, hinreichend, die Quadratwurzel aus dem ersten Gliede 2p, welches das Doppelte des durch mL · AB bezeichneten Drucks angiebt, zu nehmen. Dies giebt bei dem letzten Beispiele 28,72 · 9 = 258,48 für den Werth von p und 516,93 für 2p, woraus nun die Quadratwurzel 22,73 oder $22^3/_4$ Linien als diejenige Dicke der Widerlager sich ergiebt, welche denselben zu geben passend ist, um ihnen die erforderliche Festigkeit zu verschaffen.

Es ist nicht überflüssig zu bemerken, daß diese Dicke hinreichend ist, welche Höhe man auch den Widerlagern geben mag; denn untersucht man die letzte Formel

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

mit Aufmerksamkeit, so sieht man, weil die Größen 2pd, — 2mc, + bb, — b alle durch die Höhe a der Widerlager dividirt sind, daß

diese Größen für eine unendlich große Höhe Null werden, so daß sich also die Formel auf $x = \sqrt{2p}$ reducirt. Die Quadratwurzel aus dem doppelten Drucke giebt daher für jede Höhe der Widerlager eine hinreichende Dicke für dieselben.

Dieses Resultat findet man, so viel als möglich, durch Versuche bestätigt; denn als ich die Widerlager des letzten Modells von **10** bis **15**, **20** und **25** Zoll erhöhte, fand ich, daß sich der Bogen darauf unterstützte, obgleich ihre Dicke nur **21** $^1/_2$ Linien, statt der **22** $^3/_4$ Linien, welche die Formel giebt, betrug. Demnach muß diese letzte Dicke für ganz abgeglichene Bogen hinreichen, deren Höhe den dreifachen Durchmesser nicht übertrifft, und dies ist das größte Verhältniß, welches die Gothen den Schiffen ihrer Kirchen gegeben haben.

Obgleich das Ausziehen der Quadratwurzel nicht schwer ist, besonders wenn man mit Logarithmen rechnet, oder sich dazu geeigneter Wurzeltafeln bedient, so wollen wir doch ein sehr einfaches geometrisches Verfahren angeben, nach welchem sich die Dicke der Widerlager aller Arten zu gleicher Dicke abgeglichener Gewölbe finden läßt.

Geometrische Methode.

Wie auch die Krümmung des gleich dicken Gewölbes seyn mag, so zieht man zuerst die mittlere Curve **TKG**, Figur **12**, **13**, **14**, **15** ꝛc., sodann die Senkrechte **FO** darauf, und durch den Durchschnitt **K** beider die Horizontale **IKL**. Durch den Punkt **B** wird nun eine Vertikale gezogen, der Abstand **iK** ihres Durchschnitts **i** mit **IKL** von **K** nach **m**, der Theil **mL** aber von **B** nach **h** und das Doppelte der Dicke des Gewölbes von **B** nach **n** getragen. Beschreibt man nun über **hn** einen Halbkreis, so ist der Theil **BE**, welcher dadurch von der verlängerten Horizontalen **BA** abgeschnitten wird, die gesuchte Dicke der Widerlager eines jeden dieser Gewölbe, bei welcher sie mit einer angemessenen Festigkeit dem Drucke widerstehen können.

Dieses Verfahren giebt für das große, **36** Zoll **3** Linien im Durchmesser habende, Gewölbemodell aus Stein von Conflans, **7** $^1/_2$ Zoll oder **90** Linien; für das von Liais und **9** Zoll Durchmesser, **39** $^1/_2$ Linien, und für das vorhergehende Beispiel **22** $^3/_4$ Linien.

Es ist leicht, sich von der mathematischen Strenge dieses Verfahrens und von der Richtigkeit der dadurch erhaltenen Resultate zu überzeugen. Es kommt dabei blos auf die graphische Auflösung folgender Aufgabe an: Die Seite **BE** eines Quadrats zu finden, das

einer durch **mL · 2e** ausgedrückten Fläche gleich ist. Dieser Ausdruck ist nichts anders, als **2p** und wir haben oben gesehen, daß $x = \sqrt{2p}$ eine hinreichend genaue Grenze war. Man kann also schließen, daß die auf geometrischem Wege erhaltene Dicke **BE** in allen Fällen genügend sey, wo unsere Formel anwendbar ist. Die Cassinoide, welche gewöhnlich nicht angewendet wird, ist die einzige Curve, für welche durch die graphische Auflösung die Dicke **BE** kleiner ausfällt, als bei dem Versuche, wie wir dies Seite **275** sehen werden.

Vierte Anwendung. — Ueber den vollen Bogen erhöhte Gewölbe.

Um zu erfahren, welche Curve die vortheilhafteste für überhöhte Gewölbe sey, ließ ich die durch die Figuren **13**, **14** und **15** vorgestellten Modelle in Stein ausführen und ihnen bei gleichem Durchmesser mit den früheren **81** Linien Bogenhöhe geben. Dasjenige, auf welches wir gegenwärtige Anwendung machen wollen, war im Innern nach einer halben Ellipse geformt und durch eine Vertikalfuge in der Mitte, nebst zwei andern, gegen die Mitte der Gewölbewinkel hin, durch die, auf der inneren Curve senkrechte Secante **FO** bestimmten Fugen in vier Theile getheilt.

Hat man die mittlere Curve **GKT**, die Horizontale **IKL** und die Vertikale **Bi** gezogen, so ergiebt sich

KL = 36 3/4,
IK = 21 3/4,
iK = 17 1/4,
IT = 66 1/2 = d,
MK = 19.

Die durch **KL — iK = mL** bezeichnete Wirkung des Drucks ist **19 1/2 · 9**, woraus sich **p** der Formel ergiebt zu . . . **175,5**
und **2p** zu . . . . . **351,0.**
Da **d = 66,5** ist, so wird **2pd = 351 · 66,5** . = **23341,5.**
m, welches **KM · AB** bezeichnet, wird **19 · 9** . . = **171,0.**
Da **c**, iK bezeichnend, **17 1/4** ist, so hat man **2mc** =
171 · 17 1/4 · 2 . . . . . = **5899,5.**
Die mit **a** bezeichnete Höhe der Widerlager . . . = **120,0.**
b, welches die Summe der Vertikalwirkungen **m + n** ausdrückt, wird **(MK + IT) · AB** oder **(19 + 66 1/2) · 9** = **769,5,**

mithin $\frac{b}{a} = \frac{769,5}{120}$ . . . . . $= 6,51,$

endlich $\frac{bb}{aa}$ . . . . . $= 41,11.$

Substituirt man diese Werthe in die Formel (Seite 266)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a},$$

so hat man

$$x = \sqrt{\left(351 + \frac{23341,5 - 5899,5}{120} + 41,11\right)} - 6,41,$$

woraus $x = 16,77$, also ein wenig größer als $16^3/_4$ Linien, folgt.

Dies Modell fängt erst an, sich zu tragen, wenn die Widerlager eine Dicke von 17 Linien haben.

Zieht man die Wurzel blos aus dem doppelten Drucke, also in unserm Falle aus 351, so erhält man $18^3/_4$ Linien, wie bei der geometrischen Methode.

Fünfte Anwendung.

Das Modell, Figur 14, auf welches wir nun obige Formel anwenden wollen, hat mit dem vorhergehenden einerlei Bogenhöhe, Dicke, Durchmesser und Höhe der Widerlager; dagegen ist seine innere Krümmung, statt der Ellipse, die Cassinoide, eine mehr als die Ellipse geöffnete Curve, von der bereits im 2. Theil, 3. Buch, Seite 57 u. f. die Rede war.

Nachdem wie gewöhnlich die mittlere Curve GKT, die Tangenten TF und GF, die Secante FO, die Horizontale IKL und die Vertikalen MK, Bi gezogen sind, findet man

KL	=	39,00,
iK	=	15,00,
TI = Bi	=	67,67,
MK	=	17,83,
mL = KL − iK = 39 − 15	=	24,00,
mL · AB, in der Formel durch p angezeigt, . .	=	216,00,
2p	=	432,00.
Da Tl, durch d vorgestellt, 67,67 ist, so wird 2pd .	=	29233,44.
m, welches KM · AB bezeichnet, wird 17,83 · 9 .	=	160,47.
c, iK bedeutend, ist 15, mithin 2mc = 160,47 · 15 · 2	=	4814,10.
Die durch a bezeichnete Höhe der Widerlager . . .	=	120,00,

b, welches die Summe der Vertikalwirkungen m + n ausdrückt, ist wie oben 85,5 · 9 . . . . . = 769,5 0.

Endlich $\frac{b}{a}$ . . . . . = 6,41

und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . = 41,11.

Durch Substitution dieser Werthe in die Gleichung (Seite 266) erhält man

$$x = \sqrt{\left(432 + \frac{29233{,}44 - 4814{,}10}{120} + 41{,}11\right)} - 6{,}41$$

und hieraus $x = 19{,}62$ oder $19\,^2/_3$ Linien. Nimmt man blos die Wurzel aus $2p = 432$, so findet man, wie bei dem geometrischen Verfahren, 20,79 oder etwas mehr als $20\,^3/_4$ Linien.

Versuche zeigen, daß dieses Modell sich nur dann tragen kann, wenn die unteren Theile des Bogens an die Widerlager befestigt (geleimt), oder wenn letztere bis e verlängert sind; alsdann erhält sich das Gewölbe, bei einer Dicke der Widerlager von 20 Linien beinahe im Gleichgewicht.

Bemerkung.

Wir haben oben, Seite 255, Nr. 20, gesagt, daß ein gleich dickes Gewölbe im vollen Zirkel sich nicht tragen könne, wie dick auch die Widerlager seyn möchten, wenn die Dicke des Gewölbes oder Bogens weniger als den achtzehnten Theil seines Durchmessers betrage. Bei den nach der Cassinoide überhöhten Gewölben muß dagegen, behufs der Unterstützung, jene Dicke mehr als den neunten Theil des Durchmessers ausmachen, so wie das so eben untersuchte Gewölbe, ohne Widerlager erst bei einer Dicke von mehr als $12\,^1/_2$ Linien anfängt, sich zu tragen; woraus folgt, daß die Cassinoide nicht zu Bogen oder Gewölben paßt, welche durchaus einerlei Dicke haben sollen.

Sechste Anwendung.

Das Modell Figur 15, von dem nun die Rede ist, hat die nämlichen Dimensionen, wie das vorhergehende; nur ist die Form seiner Wölbung aus zwei halben Cycloiden zusammengesetzt, die eine vertikale Fuge in der Mitte und noch zwei andere auf dieselbe Art, wie im

vorhergehenden Beispiel, bestimmte Fugen gegen die Gewölbewinkel hin haben; es ist nämlich zur Bestimmung dieser Fugen aus dem Durchschnitte **F** der in den Punkten **G** und **T** der mittleren Curve **GKT** gezogenen Tangenten eine Senkrechte **FO** auf diese Curve gefällt. Nachdem hierauf noch durch den Punkt **K** die Horizontale **IKL** gezogen ist, ergiebt sich

KL	=	**35¼**,
iK	=	**18¾**,
TI	=	**65½**,
MK	=	**20,00.**
Der durch **p** angezeigte Druck **mL · AB** zu **16½ · 9**	=	**148,50,**
mithin für **2p**	=	**297,00.**
Da **TI**, vorgestellt durch **d**, **65,5** ist, so hat man **2pd**	=	**19453,50**;
m, welches **KM · AB** vorstellt, wird **20 · 9** . .	=	**180,00**;
c, **iK** vorstellend, ist **18,75**, mithin **2mc** . . .	=	**6750,00**;
b, welches die Summe der Vertikalwirkungen **m + n** ausdrückt, ist wie im vorigen Beispiele . . .	=	**769,50**,
und da **a = 120**, so wird $\frac{b}{a}$	=	**6,41**,
und $\frac{bb}{aa}$	=	**41,11.**

Diese Werthe in die Formel (Seite **266**) gesetzt, geben

$$x = \sqrt{\left(297 + \frac{19453{,}5 - 6750}{120} + 41{,}11\right)} - 6{,}41,$$

woraus sich **x = 14,66** oder **14⅔** Linien ergiebt. Dies Modell fängt an, sich im Gleichgewicht zu erhalten, wenn die Widerlager eine Dicke von **15** Linien haben.

Nimmt man blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke **2p = 297**, so findet man **17,24** Linien, und eben so viel wird durch die geometrische Methode gefunden.

Es ist hier nicht, wie im vorhergehenden Beispiele, nöthig, die unteren Gewölbsteine fest mit den Widerlagern zu verbinden. Rechnung und Versuch zeigen, daß sich das Modell bei überall gleicher Dicke tragen kann, wenn diese Dicke ein wenig mehr als den achtzehnten Theil seiner Spannung oder seines Durchmessers beträgt, wie dies bei Gewölben im vollen Zirkel der Fall ist.

Indem man die für die drei zuletzt untersuchten Gewölbmodelle gefundene Dicke **16,77**, **19,62** und **14,96** ver-

gleicht, sieht man, daß die Krümmung der Cycloide die vortheilhafteste, die der Cassinoide am wenigsten vortheilhaft ist, und daß die Ellipse, welche die Mitte hält, vorgezogen werden muß.

Wirklich wenden auch die Baumeister jemals weder die Cycloide, noch die Cassinoide an; allein die Wölbungen, welche sie aus Kreisbogen bilden, können sich diesen Curven mehr oder weniger nähern.

Siebente Anwendung — auf einen gothischen Bogen.

Das Modell Figur **16**, auf welches wir diese Anwendung machen wollen, hat dieselben Dimensionen, als die vorhergehenden, ist überall gleich dick und in vier Theile getheilt.

Nachdem die mittlere Curve und die übrigen Linien, wie in den vorigen Beispielen gezogen sind, findet man **iK**, in der Formel

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

(Seite **266**) bezeichnet durch

c . . . . . = **20**,
KL . . . . . = **34**,
mL . . . . . = **14**,
IT, durch **d** bezeichnet, ... = **63**,
MK . . . . . = **23**,
AB . . . . . = **9**.
mL . AB, in der Formel durch **p** bezeichnet, wird **14 · 9** = **126**,
und **2p** . . . . . = **252**,
2pd wird daher **252 · 63** . . . . . = **15876**.
m, welches **KM · AB** ausdrückt, wird **23 · 9** . . = **207**,
und da **2m = 414** ist, so wird **2mc = 414 · 20** = **8280**.
Da die mit **a** bezeichnete Höhe der Widerlager **120**

ist, so hat man $\frac{2pd - 2mc}{a} = \frac{15876 - 8280}{120} = 63{,}8$;

b, welches **FT · AB** bezeichnet, wird **86 · 9** . . = **774**,

mithin $\frac{b}{a} = \frac{774}{120}$ . . . . . = **6,45**

und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . = **41,60.**

Diese Werthe in die Formel setzend, erhält man

$$x = \sqrt{(252 + 63{,}8 + 41{,}6)} - 6{,}45,$$

welches $x = 12{,}46$ Linien für die Dicke der Widerlager giebt, die mit dem Drucke dieses Bogens im Gleichgewicht sind.

Wird blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke genommen, so findet man **15,88** Linien und eben so viel durch geometrische Construction.

Die kleinste Dicke der Widerlager, bei welcher das Modell sich trägt, ist **14** Linien.

Achte Anwendung — auf einen nach der Parabel gekrümmten Bogen.

Das Modell Figur **17** hat die nämlichen Dimensionen, als das vorige, ist eben so in vier Theile getheilt und ruht auf Widerlagern von derselben Höhe.

Nachdem die Tangenten **FG, FT** an die mittlere Curve und die Secante **FO** gezogen sind, zieht man, wie gewöhnlich, durch den Punkt **K** die Horizontale **IKL**. Man bemerkt, daß der Theil **KL**, welcher die horizontale Wirkung des oberen Gewölbetheils vorstellt, kleiner ist, als **IK**, durch welches die horizontale Kraft des unteren Theils ausgedrückt wird, woraus folgt, das die unteren Theile die oberen zu erheben streben würden, wenn die Gewölbsteine ohne Hinderniß wirken könnten. Aus diesem Grunde haben wir, als im **3.** Buche, **2.** Band, Seite **118** und folg. von der Form des Rückens dieser Art von Gewölben die Rede war, gezeigt, daß seine Dicke am Scheitel am stärksten seyn muß, wie dies Figur **14**, Tafel **XXVII**, jenes Bandes zeigt. Da die Reibung die Gewölbsteine an der freien Wirkung hindert, so wird keine Trennung im Punkt **K** erfolgen, so daß also, wenn die Tangente **TF**, wie in den vorhergehenden Beispielen, vertikal wäre, kein Druck gegen die Widerlager stattfinden würde. Da aber diese Linie geneigt ist, so wirkt das ganze Gewölbe nach dieser Richtung, welche nun als einer zusammengesetzten Kraft angehörig betrachtet werden kann, die sich in eine Vertikale **Tf** und eine Horizontale **Tm** zerlegen läßt. Jene trägt zur Festigkeit der Widerlager bei, diese strebt sie umzuwerfen. Diese letzte Kraft, welche allein den Druck verursacht, könnte durch $Tm \cdot AB$ ausgedrückt werden, wenn das Gewölbe keine Dicke hätte, also blos auf seinen mittleren Bogen reducirt wäre; da aber das Gewölbe eine Dicke hat, so wird jener Ausdruck $Bm \cdot AB$ oder $25\frac{1}{4} \cdot 9 = 227\frac{1}{4}$ für den Werth von **p** in der Formel (Seite **266**)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a};$$

2p aber wird 454 1/2.

Da in diesem Gewölbe der Druck grade an den Anfängern stattfindet, so folgt daraus, daß d, welches in den vorhergehenden Beispielen TI vorstellte, Null wird, mithin auch 2pd.

Da ferner der obere Gewölbetheil keine Trennung verursachen kann, so wird 2mc Null. Mithin reducirt sich für diese Art von Gewölben die Formel auf

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}.$$

b, welches Tf · AB vorstellt, wird $85\,1/2 \cdot 9 = 769{,}5$; $\frac{b}{a} = \frac{769{,}5}{120}$ $= 6{,}41$ und $\frac{bb}{aa} = 41{,}11$. Diese Werthe in die letzte Formel gesetzt, geben $x = \sqrt{(454{,}5 + 41{,}11)} - 6{,}41$, woraus $x = 15{,}85$ Linien folget.

Die geringste Dicke der Widerlager, auf welchen sich dieses Gewölbe erhält, ist ungefähr 17 Linien.

Nimmt man blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke, so findet man durch Rechnung, wie auf geometrischem Wege, 21,3 Linien.

Neunte Anwendung — auf das Modell eines nach der Kettenlinie über den vollen Zirkel erhöhten Bogens.

Sind, wie im vorigen Beispiele, der mittlere Bogen TKG, die Tangenten TF, FG, die Horizontale IKL und die Vertikale Tf, Figur 18, Tafel CLXXXIV, gezogen, so sieht man, daß, wie im vorigen Beispiele, keine Trennung statthaben wird, weil IK größer als KL ist, und daß der ganze Druck in der schiefen Richtung FT, die sich in zwei andere Tf und Tm zerlegt, auf die Widerlager wirkt. Die Formel reducirt sich, wie oben, auf

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}.$$

Da Bm $= 22\,1/3$ gefunden wird, so ist der Werth $p = 22\,1/3 \cdot 9 = 201$ und $2p = 402$. Da dies Modell mit dem vorigen einerlei Bogenhöhe, Dicke und Höhe der Widerlager hat, so ist b, welches

Tf · AB vorstellt, wie vorhin, 769,5, also auch $\frac{b}{a} = 6{,}41$ und $\frac{bb}{aa} = 41{,}11$. Werden diese Werthe in die letzte Formel voriger Anwendung gesetzt, so wird

$$x = \sqrt{(402 + 41{,}11)} - 6{,}41 = 14{,}64$$

oder $14\frac{2}{3}$ Linien gefunden, Wird blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke genommen, so ergiebt sich x durch Rechnung sowohl, als durch geometrisches Verfahren zu 20,05 Linien; der Versuch giebt 16 Linien.

Vergleicht man die Resultate der sechs letzten Anwendungen, so sieht man, daß der gothische Bogen am wenigsten, und der nach der Cassinoide geformte am meisten drückt.

Um mit einem Blicke das Verhältniß des Drucks dieser verschiedenen Bogen von einerlei Dimensionen übersehen zu können, sind in nachstehender kleinen Tabelle die Resultate der Formel und der Versuche zusammengestellt.

Modelle der Bogen	Dicke der Widerlager nach der Formel		d. Versuch		der vereinf. Formel u. d. geom. Constr.	
	Lin.	100tel	Lin.	100tel	Lin.	100tel
Nach der gothischen Wölbung . .	12	46	14		15	88
Nach der Kettenlinie	14	64	15		20	05
Nach der Cycloide	14	66	15		17	24
Nach der Parabel	15	85	16	50	21	30
Nach der Ellipse	16	77	17		18	75
Nach der Cassinoide	19	62	21		20	79

Diese Tabelle zeigt, daß für überhöhte Gewölbe die Grenze $x = \sqrt{2p}$, oder die durch graphische Construction gefundene Dicke mehr als hinreichend ist, weil sie immer mehr, als die durch die Versuche erhaltene, beträgt; jedoch mit Ausnahme der Cassinoide, obwohl sich auch hier das Resultat der geometrischen Construction dem des Versuchs mehr nähert, als das durch die erste Formel enthaltene.

Man sieht außerdem aus dieser Zusammenstellung, daß die vortheilhafteste Form zu überhöhten Gewölben die des gothischen Bogens

ist, der aus zwei am Scheitel einen, in der Architektur dieser Art nicht unangenehmen, Winkel einschließenden Kreisbogen besteht.

Die durch die Baumeister des zehnten und zwölften Jahrhunderts ausgeführten gothischen Gewölbe sind im Allgemeinen durch ihre Eleganz, ihre augenscheinliche Kühnheit und durch das System ihrer Zusammensetzung merkwürdig.

Zu Dächern von Gebäuden, wo man kein Zimmerwerk anwenden will, um sie gegen den Brand zu schützen, sind die gothischen Gewölbe sehr geeignet, weil die Form ihrer Wölbung mehr als jede andere zu zweiseitigen Dächern mit dem wenigsten Mauerwerk, der meisten Solidität und Oekonomie paßt.

Nach dem gothischen Bogen paßt die Form der Kettenlinie am besten zu Gewölben, die über den Halbkreis erhöht sind. Wir haben schon im 3. Buch, 2. Band, Seite 78 u. f. von den Eigenschaften dieser Curve und der Art, sie zu zeichnen, gesprochen. Wenn man nur die Solidität und Oekonomie im Auge hat, so ist es gewiß die Kettenlinie, welche am meisten zur Bogengestalt der Gewölbe geeignet ist, besonders, wenn die Gewölbe überall eine gleiche Dicke haben sollen. Diese Gewölbekrümmung würde gar nicht unangenehm seyn, wenn sie sich nur an vertikale Widerlager anschließen könnte; indessen läßt sich dieser kleine Fehler umgehen, wenn man grade an den Anfängern ein Gesims anbringt, oder den untern Theil der Curve durch einen Kreisbogen mit den Widerlagern verbindet.

Diese Art von Gewölben hat noch eine Eigenthümlichkeit, auf welche ich bei der Prüfung eines nach der Kettenlinie gestalteten Gewölbemodells kam, das 16 Zoll Durchmesser, 11 Zoll Bogenhöhe, überall eine Dicke von 1 Zoll hatte und in 29 Gewölbsteine getheilt war. Ist dies Modell auf seinen Widerlagern im Gleichgewicht und man nimmt ein auf die Mitte des Schlußsteins gelegtes Gewicht, das hinreichend ist, einen Bruch zu bewirken, wieder schnell hinweg, so erhebt sich das Gewölbe und schwankt einige Zeit, indem es sich abwechselnd erhebt und senkt.

Die paraboliſchen Gewölbe haben keine so angenehme Krümmung als die nach der Kettenlinie geformten; sie drücken mehr, haben auch das Unangenehme, einen Winkel mit vertikalen Widerlagern zu bilden und besitzen nicht dieselbe Biegsamkeit; nimmt man das Gewicht, womit man sie bis zur Bewerkstelligung einer Trennung beschwert, wieder weg, so erheben sie sich schnell, ohne Schwingungen zu machen.

Da indessen diese Gewölbe viel Festigkeit haben, so könnte man sie, indem man ihnen hinreichende Widerlager giebt, mit Nutzen zu Gewölben und Bogen anwenden, die große Lasten zu tragen haben.

Hinsichtlich der drei andern Curven, die sich an vertikale Widerlager anschließen, haben wir schon oben bemerkt, daß die Cycloide, welche den geringsten Druck erzeugt, die am wenigsten angenehme Krümmung hat, und daß die Cassinoide, welche den besten Effect macht, den Fehler hat, viel Druck hervorzubringen und eine beträchtliche Dicke für das Gewölbe und die Widerlager zu verlangen; woraus folgt, daß die Ellipse, deren Krümmung eine mittlere ist und deren Durchmesser nicht in einem unveränderlichen Verhältniß stehen, den beiden andern Curven vorzuziehen ist.

Zehnte Anwendung. — Gedrückte Gewölbe.

Um die Curven kennen zu lernen, welche sich am besten zu gedrückten Gewölben eignen, ließ ich drei Modelle, Figur **19**, **20** und **21**, anfertigen, welche mit den früher betrachteten einerlei Durchmesser und Dicke hatten und bei einer Bogenhöhe von **35** Linien nach der Ellipse, der Cassinoide und der Cycloide geformt waren.

Wir wollen nun die Formel (Seite **266**)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

auf das Modell mit halbellipsenförmigem Bogen, Figur **19**, anwenden. Nachdem, wie gewöhnlich, die schon mehrmals erwähnten Linien gezogen sind, findet man

KL	=	**45,5**,
iK	=	**8,5**,
IT, in der Formel mit **d** bezeichnet	=	**24,84**,
MK	=	**14,66**,
mL · AB, den Druck **p** bezeichnend, **37 · 9** . . .	=	**333,00**,
mithin **2p**	=	**666,00**.
Da **TI = 24,84** ist und **d** bezeichnet, so ist **2pd** .	=	**16543,44**;
m, welches **KM · AB** vorstellt, wird **14,66 · 9** . .	=	**131,94**;
c, welches **iK** vorstellt, ist **8,5**, mithin **2mc** . . .	=	**2242,94**;
b, welches die Summe der Vertikalwirkungen **m + n** ausdrückt, ist **39,5 · 9**	=	**355,50**;

a ist, wie immer, 120, daher $\frac{b}{a} = \frac{355,5}{120}$ . . . = 2,96

und endlich $\frac{bb}{aa}$ . . . . . = 8,76.

Werden diese Werthe in die Formel substituirt, so wird

$$x = \sqrt{\left(666 + \frac{16343,44 - 2242,94}{120} + 8,76\right)} - 2,96,$$

woraus $x = 25,22$, also ein wenig kleiner als $25\frac{1}{4}$ Linien folgt.

Dieses Modell fängt an, sich zu tragen, wenn die Widerlager 26 Linien dick sind, wobei aber die unteren Gewölbsteine fest mit den Widerlagern verbunden seyn müssen.

Wird blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke, d. h. aus 666 gezogen, so erhält man 25,81 oder ein wenig mehr als $25\frac{3}{4}$ Linien; dasselbe ergiebt sich durch die geometrische Methode.

Damit sich dieser Bogen ohne feste Verbindung seiner unteren Gewölbsteine mit den Widerlagern trage, muß seine Dicke ein wenig mehr als den zehnten Theil seines Durchmessers ausmachen.

Elfte Anwendung.

Das Modell, Figur 20, auf welches sich diese Anwendung bezieht, hat die nämlichen Dimensionen, wie das vorige, ist aber im Innern nach einer halben Cassinoide gestaltet.

Sind die oben erwähnten Linien gezogen, so findet man

KL . . . . . = 47,
iK . . . . . = 7,
TI . . . . . = 26,5,
KM . . . . . = 13,
mL . . . . . = 40,
mithin den Druck $p = 40 \cdot 9$ . . . . . = 360,
und $2p$ . . . . . = 720.
Da TI, d vorstellend, 26,5 ist, so wird $2pd$ . . . = 19080;
m, welches KM · AB bezeichnet, wird $13 \cdot 9$ . . = 117;
c, iK bedeutend, ist 7, mithin $2mc = 234 \cdot 7$ . . = 1638;
b, welches die Summe der vertikalen Wirkungen $m + n$
ausdrückt, ist wie im vorigen Beispiele . . . . = 355,5,

daher $\frac{b}{a}$ . . . . . = 2,96

und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . = 8,76.

Durch Substitution dieser Werthe in die Formel (Seite 266) erhält man

$$x = \sqrt{\left(720 + \frac{19080 - 1638}{120} + 8{,}76\right)} - 2{,}96,$$

woraus sich $x = 26{,}61$ oder ein wenig kleiner als $26^2/_3$ Linien ergiebt.

Dies Modell fängt an, sich im Gleichgewicht zu erhalten, wenn die Widerlager eine Dicke von $27^1/_2$ Linien haben, wobei aber die unteren Gewölbsteine wieder fest auf den Widerlagern ruhen müssen.

Nimmt man blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke, also aus 720, so findet man $x = 26{,}84$, mithin nur wenig kleiner als 27 Linien. Durch die geometrische Methode ergiebt sich dasselbe.

Soll sich dieser Bogen ohne feste Verbindung der Anfänger mit den Widerlagern unterstützen, so muß seine Dicke mehr als den neunten Theil seiner Spannung betragen.

Da bei gedrückten Gewölben die vertikalen Wirkungen, welche man bei der blosen Ausziehung der Wurzel aus dem doppelten Druck vernachläßigt, nicht so beträchtlich sind, als bei halbkreisförmigen und überhöhten Gewölben, so ist die Dicke, welche man für die Widerlager findet, diejenige, bei welcher die Bogen anfangen sich im Gleichgewicht zu erhalten.

Zwölfte Anwendung.

Das Modell, Figur 20, für welches diese Anwendung gilt, hat mit dem vorigen einerlei Abmessungen, seine innere Wölbung ist aber nach einer Cycloide geformt.

Sind die schon mehrmals erwähnten Linien gezogen, so ergiebt sich

KL . . . . . = 45,25,

iK . . . . . = 8,75,

TI . . . . . = 23,50,

KM . . . . . = 16,00,

mL · AB, den Druck p in der Formel ausdrückend, wird 36,5 · 9 = 328,50, und 2p . . . . . = 657,00,

TI, d vorstellend, ist 23,50, mithin 2pd . . . . . = 15439,50;

m, welches KM · AB vorstellt, ist 16 · 9 = 144, also 2m = 288,00

c, iK vorstellend, ist 8,75, mithin 2mc . . . . . = 2520,00;
b, welches die vertikalen Wirkungen ausdrückt, ist
wie oben . . . . . = 355,50,
eben so $\frac{b}{a}$ . . . . . = 2,96
und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . = 8,76.

Diese Werthe in die Formel (Seite 266) gesetzt, geben

$$x = \sqrt{\left(657 + \frac{15439,5 - 2520}{120} + 8,76\right)} - 2,96,$$

woraus $x = 24,85$, also ein wenig kleiner als 25 Linien folgt.

Das Modell fängt an, sich auf Widerlagern von 16 Linien Dicke zu tragen.

Indem man nur die Wurzel aus dem doppelten Druck 657 zieht, erhält man $x = 25,64$ oder $25^2/_3$ Linien; eben so viel giebt das geometrische Verfahren.

Aus den sechs letzten Anwendungen, so wie aus den Modellen, auf welche sie gemacht wurden, folgt, daß in Gewölben von gleicher Spannung, gleicher Bogenhöhe und gleicher Dicke, diejenigen den geringsten Druck haben, welche am meisten nach oben gekrümmt sind, und bei welchen der Theil iK am größten ist. So ist bei überhöhten Gewölben mit Bogen geformt

nach der Cycloide der Theil iK = $18^3/_4$ und der Druck $148^1/_2$;
„ „ Ellipse „ „ iK = $17^1/_4$ „ „ „ $175^1/_2$;
„ „ Cassinoide „ iK = 15 „ „ „ 216;

bei gedrückten Gewölben

nach der Cycloide der Theil iK = $8^3/_4$ und der Druck $328^1/_2$;
„ „ Ellipse „ „ iK = $8^1/_2$ „ „ „ 333;
„ „ Cassinoide „ iK = 7 „ „ „ 360.

Zu dem, was bereits im 3. Buch, 2. Theil, Seite 57 — 59 und Seite 270 dieses Bandes gesagt wurde, bemerken wir noch weiter, daß von den drei Curven die Cassinoide den größten Raum einschließt und, in ein aus dem Durchmesser und der Höhe des Gewölbes gebildetes Rechteck eingeschrieben, die beste Wrkung hervorbringt; dagegen hat sie, außer dem Umstande, daß sie nicht für alle Fälle paßt, noch den Nachtheil, daß sie den größten Druck erzeugt. Ist sie überall zu gleicher Dicke abgeglichen und in vier Theile getheilt, so kann sich ein nach ihr gestalteter Bogen auf einer horizontalen

Unterlage ohne Widerlager nur dann im Gleichgewicht erhalten, wenn seine Dicke geringer ist, als der neunte Theil des Durchmessers.

Die Cycloide schließt den kleinsten Raum ein und bringt den geringsten Druck hervor; aber sie paßt nicht so gut in das aus dem Durchmesser und der Höhe des Gewölbes beschriebene Rechteck, und hat außerdem noch den Nachtheil, nur in dem einzigen Falle angewendet werden zu können, wenn sich Durchmesser und Höhe des Gewölbebogens bei gedrückten Gewölben wie **22 : 7**, und bei überhöhten wie **14 : 11** verhalten. Die geringste Dicke, welche Gewölbebogen, die nach dieser Curve gestaltet sind, haben müssen, um sich auf horizontaler Unterlage ohne Widerlager zu unterstützen, beträgt, wie bei halbkreisförmigen Bogen, ein wenig mehr als den achtzehnten Theil des Durchmessers.

Die Ellipse, deren Krümmung zwischen den Krümmungen der beiden vorhergehenden Curven liegt, hat den Vorzug, bei jeder Bogenhöhe anwendbar zu seyn; in ein Rechteck eingeschrieben, bringt sie einen bessern Effect hervor, als die Cycloide, hat aber mehr Druck als diese und weniger als Cassinoide.

Da die Baumeister es vorziehen, die Krümmung gedrückter Gewölbe aus Kreisbogen zusammenzusetzen, die eine Curve bilden, welche sich der Cassinoide mehr nähert, als der Ellipse, so ist es nothwendig, sie darauf aufmerksam zu machen, daß dergleichen Gewölbe niemals eine gleiche Dicke erhalten dürfen und, was noch mehr ist, daß ihre Seitenmauern oder Widerlager wenigstens bis in die Gegend des Gewölberückens fortgesetzt werden müssen, wo die verlängerte innere Linie der Widerlager diesen Rücken durchschneidet, wie dies Figur **24** zeigt; die Dicke kann an dieser Stelle den zwölften Theil des Durchmessers betragen und sich dann nach und nach so vermindern, daß sie in der Mitte des Schlußsteins den vierundzwanzigsten Theil ausmacht.

Es ist wichtig, zu bemerken, daß ein zu dünnes, gleich dickes Gewölbe zusammenfallen kann, wie groß auch der Widerstand der Stützpunkte seyn mag, besonders wenn es ein gedrücktes ist, weil bei einem, durch irgend einen Zufall herbeigeführten, Bruch die Wirkung der oberen Theile die unteren Theile erheben kann, ohne daß die Mauern ausweichen.

Dreizehnte Anwendung.

Es sey **ACA'**, Figur **22**, das Modell eines hängenden oder geneigten Bogens, der mit dem vorhergehenden einerlei Durchmesser und Dicke habe, überall gleich dick sey und auf ungleich hohen Widerlagern von **10** Zoll oder **120** Linien und **14 1/2** Zoll oder **174** Linien ruhe. Wir haben im **3.** Buch, **2.** Band, Seite **68** u. f., als von der Art, diese Bogen zu zeichnen, die Rede war, gesagt, daß sie von der Scheitellinie abhänge, welche geneigt oder horizontal seyn könne. In gegenwärtiger Anwendung ist die Scheitellinie parallel mit der Hanglinie **BB'** angenommen.

Da dieses Gewölbe aus zwei Hälften verschiedener Bogen besteht, so beschreibe man in jeder die mittlere Curve und ziehe die übrigen schon oben angegebenen Linien. Hierauf verlängere man die Horizontale **KL** des kleinen Bogens bis sie die mittlere Linie des andern Bogens in **S** und die innere Linie seines Widerlagers in **g** schneidet.

Der Theil **KLS** zeigt die horizontale Wirkung des Gewölbtheils **KGS** an, dergestalt, daß wenn man in **S** eine Fuge voraussetzt, der Theil **LK** die Kraft anzeigt, welche gegen den unteren Theil des kleinen Bogens und **LS** diejenige, welche gegen den unteren Theil des großen Bogens wirkt. Diese Bogentheile wirken diesen Kräften entgegen; der kleine Bogen nämlich mit einer durch **iK**, und der große mit einer durch **gS** angezeigten Kraft. Da aber **gS** größer ist, als **LS**, so trägt man **LS** von **g** gegen **f**, um den Unterschied zu erhalten, der ausdrückt, um wie viel **LS** vermehrt werden muß, um der Wirkung des großen halben Bogens widerstehen zu können; d. h. es muß die Wirkung des kleinen Bogens gleich **Lf** seyn. Da aber dieser Bogen, um sich zu unterstützen, einer Gegenwirkung von Seiten des großen Bogens bedarf, die gleich **KL** ist, so ist es der Unterschied dieser zwei einander entgegengesetzten Wirkungen, welcher den Druck gegen den unteren Theil des kleinen Bogens und gegen das ihn tragende Widerlager verursacht. Nachdem man also **fL** von **L** nach **q** getragen hat, mache man **Lh** der Hälfte von **iq** gleich und nun stellt der Theil **hK**, multiplicirt mit der Dicke **AB**, den in der Formel (Seite **266**)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a},$$

durch **p** bezeichneten Druck vor.

Da hK = 30 1/2 gefunden wird und AB = 9 ist, so wird der Werth
p = 30 1/2 · 9 = 274 1/2 und 2p . . . . . = 549;
d, welches lT vorstellt, ist 29 1/2, daher 2pd . . . = 16195 1/2;
in 2mc bezeichnet m das Produkt MK · AB =
12 1/3 · 9 = 111 und 2m . . . . . = 222;
da nun c, welches iK bedeutet, 8 ist, so hat man
2mc = 222 · 8 . . . . . = 1776,
und da ferner die mit a bezeichnete Höhe des Widerlagers 174 ist, so wird $\frac{2pd - 2mc}{a} =$

$\frac{16195\,1/2 - 1776}{174}$ . . . . . = 82,81.

Die mit b bezeichnete vertikale Wirkung, durch TF · AB ausgedrückt, ist 41 2/3 · 9 . . . . . = 375,
daher $\frac{b}{a} = \frac{375}{174}$ . . . . . = 2,15
und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . = 4,64.

Durch Substitution dieser Werthe in die Formel erhält man

$$x = \sqrt{(549 + 82{,}81 + 4{,}64)} - 2{,}15 = 23{,}08$$

also etwas mehr, als 23 Linien für die Dicke des großen Widerlagers, das den kleinen Bogen unterstützt.

In Bezug auf den halben großen Bogen trägt man, nachdem die Horizontale I′K′L′ unbestimmt verlängert ist, VL′ von K′ nach r und theilt rL′ im Punkt t in zwei gleiche Theile, so zeigt die Linie K′t die Kraft an, mit welcher der kleine halbe Bogen gegen den großen wirkt, der ihm mit einer durch i′K′ bezeichneten Kraft widersteht. Trägt man also i′K′ von K′ nach q′, so wird die Kraft des in der Formel mit p bezeichneten Drucks durch q′t · AB ausgedrückt und ergiebt sich zu 20 · 9 = 180 und für 2p . . = 360.
Da d, TI bezeichnend, 69 1/2 ist, so wird 2pd . . = 25080.
In 2mc ist m = 26 · 9 = 234 und c = 33 1/6,
2mc also . . . . . = 10842.
Da a, welches die Höhe des kleinen Widerlagers bezeichnet, 120 ist, so wird $\frac{2pd - 2mc}{a} = \frac{25080 - 10842}{120}$ = 118,65;

b, TF · AB vorstellend, ist $95^2/_3 \cdot 9 = 861$, daher

$$\frac{b}{a} = \frac{861}{120} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 7{,}175,$$

und $\frac{bb}{aa}$ $\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 51{,}48.$

Werden diese Werthe in die Formel gesetzt, so ergiebt sich

$$x = \sqrt{(360 + 118{,}65 + 51{,}48)} - 7{,}175 = 15{,}855,$$

also eine Dicke von nahe 16 Linien für das Widerlager, auf welchem der halbe große Bogen ruht.

Nimmt man blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke, so findet man für die Dicke des großen Widerlagers 23,44 und für die des kleinen 19 Linien.

Behufs der geometrischen Construction muß man, hinsichtlich des großen Widerlagers, hK von B nach u und 2AB von B nach n tragen, sodann über nu einen Halbkreis beschreiben, so ist der von der verlängerten BA abgeschnittene Theil BE $= 23^1/_2$ Linien die gesuchte Dicke des Widerlagers.

In Betreff des kleinen Widerlagers trägt man q't von B′ nach u′ und 2A′B′ von B′ nach n′, so schneidet der über n′u′ beschriebene Halbkreis die gesuchte Dicke B′E′ zu 19 Linien ab.

Dies Gewölbemodell, geprüft ehe seine Kanten abgestumpft waren, erhielt sich im Gleichgewicht auf Widerlagern, von denen das große 22 und das kleine 18 Linien dick war.

Vierzehnte Anwendung.

Nachdem hinsichtlich des Modells, Figur 23, des andern hängenden Bogens dasselbe geschehen ist, was früher geschah, findet man für den kleinen Bogen

hK · AB $= 30^1/_2 \cdot 9 = 273 =$ p und also 2p . $=$ 546,

d, $22^2/_3$ betragend, giebt 2pd . . . . . $=$ 12376,

m, MK · AB vorstellend, ist $9^1/_6 \cdot 9$ . . . . . $=$ $82^1/_2$;

c, welches iK bedeutet, ist $4^2/_3$, mithin 2mc $=$

$2 \cdot 82^1/_2 \cdot 4^2/_3$ . . . . . $=$ 770

Da die in der Formel mit a bezeichnete Höhe des Widerlagers 174 ist, so wird $\frac{2pd-2mc}{a} = \frac{12376-770}{174} =$ 66,70.

Die Summe der durch b bezeichneten Vertikalwirkungen ist TE · AB $= 31^5/_6 \cdot 9 = 286^1/_2$, mithin $\frac{b}{a} = \frac{285^1/_2}{174}$ . . . $= 1{,}65$

und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . $= 2{,}71$.

Diese Werthe in die Formel (Seite 266)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

substituirt, geben

$x = \sqrt{(546 + 66{,}7 + 2{,}71)} - 1{,}65 = 23{,}15$ Linien

für die Dicke des größeren Widerlagers.

Wird in Bezug auf das kleinere Widerlager eben so verfahren, so findet man

p't · AB, p bezeichnend, $25 \cdot 9 = 225$, also 2p . . $= 450$;

d, welches IT vorstellt, ist $60^1/_6$, mithin 2pd . . $= 27075$;

m, M'K' · A'B' andeutend, wird $25 \cdot 9$, mithin 2mc,

da c, durch iK bezeichnet, $20^1/_2$ ist, $25 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 20^1/_2 = 9225$.

Da nun die mit a bezeichnete Höhe 120 beträgt, so

hat man $\frac{2pd - 2mc}{a} = \frac{27075 - 9225}{120}$ . . . . $= 148{,}75$;

b, TF · AB vorstellend, wird $85^1/_6 \cdot 9 = 766{,}05$,

also $\frac{b}{a} = \frac{766{,}05}{120}$ . . . . . $= 6{,}387$

und mithin $\frac{bb}{aa}$ . . . . . $= 40{,}8$.

In die Formel substituirt, geben diese Werthe

$x = \sqrt{(450 + 148{,}75 + 40{,}8)} - 6{,}387 = 18{,}9$ Linien

für die Dicke des kleineren Widerlagers.

Wird blos die Quadratwurzel aus dem doppelten Drucke ausgezogen, so findet man für das große Widerlager 23,37 und für das kleine 21,22 Linien, welche Resultate auch das geometrische Verfahren liefert.

Der Versuch giebt 22 Linien für das große und $19^1/_2$ Linien für das kleine Widerlager.

Es folgt aus diesen zwei Anwendungen und ihrem durch den Versuch bestätigten Resultate, daß der Druck gegen das größere Widerlager desto beträchtlicher ist, je kleiner der durch das größere Widerlager

unterstützte Bogen im Verhältniß zu dem durch das kleinere Widerlager getragenen großen Bogen ist. Hieraus läßt sich der Schluß ziehen, daß es, wenn es sich von dem Strebepfeiler einer Mauer handelt, besser ist, die Curve durch eine horizontale, als durch eine geneigte Scheitellinie zu bestimmen, und daß der vortheilhafteste Fall dann eintritt, wenn er nur einen halben Bogen bildet.

Fünfzehnte Anwendung.

In den vorhergehenden Anwendungen hatten wir die Absicht, diejenigen Gewölbebogen kennen zu lernen, welche zu überhöhten, gedrückten und hängenden Gewölben die passendsten sind; wir haben sie deßhalb als durchaus zu gleicher Dicke abgeglichen vorausgesetzt, welches beinahe niemals stattfindet, weil es der ungünstigste Fall ist. In den folgenden Anwendungen werden wir sie so betrachten, wie man gewohnt ist, sie zu bauen und wie sie seyn müssen, um ganz die Festigkeit zu erhalten, deren sie fähig sind.

Der Gegenstand dieser Anwendung ist das Modell eines Gewölbes im vollen Halbkreis, Figur 24, dessen Widerlager bis an die Stelle fortgesetzt sind, wo ihre verlängerte Seitenlinie die Rückenlinie des Gewölbes schneidet. Im Uebrigen sind die Abmessungen dieses Modells denjenigen des Modells Figur 12 gleich, auf welches die dritte Anwendung, Seite 264, gemacht wurde.

Durch diese Einrichtung wird die in der Formel (Seite 266)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

mit a bezeichnete Höhe des Widerlagers 152,5 statt der früheren Höhe 120.

Die Wirkung des durch mL · AB angezeigten, in der Formel mit p bezeichneten, Drucks ist immer 217,98 und $2p = 435{,}96$.
Da d, welches EH vorstellt, 8,86 ist, so ergiebt sich $2pd = 3862{,}60$;
2mc ist wie oben . . . . . $= 3899{,}69$;
$\frac{2pd - 2mc}{a}$ wird daher $\frac{3862{,}60 - 3899{,}69}{152{,}5}$ . . $= 37{,}09$,
b, tF · AB vorstellend, ist $36 \cdot 9 = 324$, daher
$\frac{b}{a} = \frac{324}{152{,}5}$ . . . . . $= 2{,}124$
und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . $= 4{,}51$.

Durch Substituirung dieser Werthe in die Formel wird

$x = \sqrt{(435{,}96 + 37{,}09 + 4{,}51)} - 2{,}124 = 17{,}934$,

also ein wenig kleiner als 18 Linien statt 20 ½ Linien, welche die Widerlager zur Dicke verlangen, wenn dasselbe Gewölbe durchaus gleich dick ist.

Wird blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke genommen, so findet man durch Rechnung, wie durch geometrische Construction, 20,88 Linien statt 22,75 Linien, welche sich auf demselben Wege finden, wenn das Gewölbe durchaus gleiche Dicke hat. Dieses Resultat beweist, daß es vortheilhafter ist, die Gewölbe nicht überall gleich dick zu machen.

Die geringste Dicke der Widerlager, auf welchen sich das Modell zu tragen anfängt, ist 19½ Linien.

Sechzehnte Anwendung.

Das Bogenmodell, Figur 26, auf welches wir diese Anwendung machen wollen, hat mit dem vorhergehenden einerlei Spannung, ist aber in einer Horizontallinie abgeglichen, um den Fußboden einer oberen Etage zu bilden. Die Dicke in der Mitte des Schlußsteins beträgt 9 Linien. Um die Stelle, wo ein Bruch stattfinden würde, oder die Stelle des größten Drucks zu finden, zieht man durch den Punkt B die Vertikale BF bis zum Durchschnitt mit dem Rücken, sodann die Secante FO, welche den inneren Bogen im Punkt K senkrecht schneidet; endlich durch diesen Punkt die Horizontale IKL und die Vertikale HKM.

Der Theil CDKF ist derjenige, welcher den, mit einer durch KL angezeigten Kraft wirkenden, Druck verursacht;

KL ergiebt sich zu	=	35,14,
FH = IK, c in der Formel bezeichnend, ist . . .	=	18,86.
Der Bogen KD von 40 Grad 36 Minuten	=	38,28,
der Bogen KB	=	46,57,
der Bogen DKB	=	84,85,
KH, bezeichnet mit d	=	22,00,
die Vertikale HKM	=	63,00.
Die in der Formel mit a bezeichnete Höhe des Widerlagers	=	183,00.

Die Stirnfläche des oberen Theils FKCD beträgt 667,44; da sich aber die Last der Gewölbewinkel auf den unteren Gewölbstein wirft, so muß man von jener Fläche das Dreieck FKH = $\frac{18{,}26 \cdot 22}{2}$ =

207,46 abziehen. Der Rest 459,98 mit KL multiplicirt und durch den Bogen KD dividirt, d. h. $\frac{459{,}98 \cdot 35{,}14}{38{,}28} = 422{,}24$, bezeichnet die Wirkung des oberen Theils.

Die Wirkung des unteren Theils ist $\frac{FBKH \cdot IK}{KB} = \frac{651{,}07 \cdot 18{,}86}{46{,}57} = 263{,}67$. Die Differenz 422,24 — 263,67 = 158,57 beider Wirkungen ist der Ausdruck des in der Formel mit p bezeichneten Drucks; alsdann ist $2p = 317{,}14$.

Da angenommen wird, die Widerlager erstreckten sich bis zur Rückenlinie EC, so sind sie größer, als der Hebelsarm des im Punkt K wirkenden Drucks. Statt demnach, wie bisher, durch a + d bezeichnet zu seyn, wird nun der Hebelsarm durch a — d ausgedrückt, wobei d den Unterschied bedeutet; hierdurch wechselt das Zeichen von $\frac{2pd}{a}$ und der numerische Werth $\frac{317{,}14 \cdot 22}{183} = 38{,}12$ dieses Ausdrucks wird in der Formel durch — 38,12 ersetzt.

2mc, welches in den vorhergehenden Anwendungen die doppelte vertikale Wirkung des oberen Gewölbsteins, multiplicirt mit seinem Hebelsarme, bezeichnete, wird hier Null, weil es bereits in dem Zusatze zum unteren Gewölbstein begriffen ist, so daß sich also die Formel

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}.$$

(Seite 266) in folgende verwandelt:

$$x = \sqrt{\left(2p - \frac{2pd}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}.$$

b, welches stets die vertikale Wirkung des Halbgewölbes bezeichnet, wird $\frac{1111{,}05 \cdot 63}{84{,}85} = 824{,}94$, mithin $\frac{b}{a} = \frac{824{,}94}{183} = 4{,}51$ und $\frac{bb}{aa} = 20{,}25$.

Durch Substitution dieser Werthe in die letzte Formel wird

$$x = \sqrt{(317{,}14 - 38{,}12 + 20{,}25)} - 4{,}51 = 12{,}8.$$

Nimmt man blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke, so wird x = 17,8 Linien.

Der Versuch giebt 14 Linien als geringste Dicke der Widerlager, auf denen sich dieses Gewölbe tragen kann.

Zur Bestimmung dieser Dicke durch die geometrische Methode, wird **mK = IK, Bh = mL** und **Bn = 2CD** gemacht, sodann über **hn** als Durchmesser ein Halbkreis beschrieben, so schneidet derselbe in der verlängerten Linie **OB** die gesuchte Dicke **BA = 17¹/₄** Linien ab.

Andere Auflösung durch die Methode der Schwerpunkte, der vorigen zum Beweise dienend.

Bei der Anwendung dieser Methode auf ein großes Gewölbemodell von gleicher Dicke haben wir bereits Seite **263** bemerkt, daß sie besonders bei ungleich dicken Gewölben anwendbar sey.

Man sucht zuerst die Lage des Schwerpunktes des oberen Gewölbetheils **FCDK**, Figur **26**, und zieht durch diesen Schwerpunkt **G** eine unbestimmte Vertikale. Indem man alsdann den Punkt **K** als Stützpunkt betrachtet, zieht man eine Senkrechte **Kg** auf jene Vertikale und eine andere **KH** auf die Richtung der durch **CF** bezeichneten Kraft. Hierauf betrachtet man **HKg** als einen Winkelhebel, der seinen Unterstützungspunkt in **K** hat und am Ende des Arms **Kg** das Gewicht des Gewölbsteins dadurch trägt, daß am Ende **H** des andern Hebelarms eine horizontale Kraft wirkt. Heißt nun diese Kraft **p**, und das Gewicht **Q**, so hat man **p : Q = Kg : KH**, woraus $p = \frac{Q \cdot Kg}{KH}$ folgt.

Da **Q**, welches die Stirnfläche des oberen Gewölbetheils

bezeichnet, ...	=	667,44,
Kg	=	8,34,
und **KH**	=	22,00,
ist, so wird $p = \frac{667{,}44 \cdot 8{,}34}{22}$ also $2p = \frac{667{,}44 \cdot 8{,}34}{11}$	=	505,86.
Die mit **b** bezeichnete Stirnfläche des Halbgewölbes ist	=	1111,05
und daher **2b**	=	2222,10.
c, welches den Abstand des Punktes **B** von der durch den Schwerpunkt des Halbgewölbes gezogenen Vertikalen bezeichnet, ist	=	18,57.
a, die Höhe des Widerlagers vorstellend, ist wie oben	=	183.
Hiernach wird $\frac{2bc}{a} = \frac{2222{,}1 \cdot 18{,}57}{183}$	=	225,48.

$$\frac{b}{a} = \frac{1111{,}05}{183} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 6{,}07$$

$$\text{und } \frac{bb}{aa} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 36{,}84.$$

Setzt man diese Werthe in die Formel

$$x = \sqrt{\left(2p - \frac{2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b^1)}{a},$$

so wird

$$x = \sqrt{(505{,}86 - 225{,}48 + 36{,}84)} - 6{,}07 = 11{,}74$$

statt **12,8** Linien, welche durch die vorhergehende Methode gefunden wurden.

Diese letzte Methode ist allerdings richtiger, als die andere; allein die Bestimmung der Schwerpunkte und ihrer Hebelsarme in Bezug auf die Unterstützungspunkte **K** und **B** machen sie weitläufiger und schwieriger. Da man überdieß bei diesen Untersuchungen mehr die Stabilität als das Gleichgewicht im Auge haben muß, so bringt es keinen Nachtheil, daß die Resultate eher ein wenig zu stark, als zu schwach ausfallen; es ist hinreichend, die Quadratwurzel aus dem doppelten Drucke, oder das Resultat des geometrischen Verfahrens zu nehmen.

Die geringste Dicke der Widerlager, bei welcher sich dieses Modell trug, als es neu bearbeitet war und noch scharfe Kanten hatte, betrug **14** Linien.

Siebenzehnte Anwendung.

Das Modell Figur **27** enthält ein dem vorigen ähnliches Gewölbe, eine darauf befindliche Etage zwischen zwei Mauern von **100** Linien

---

1) In der Formel $x = \sqrt{\left(\frac{2p - 2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b}{a}$ (Seite 229) bezeichnet p die Wirkung des Halbgewölbes gegen das Widerlager, wobei die horizontalen Kräfte schon mit ihren Hebelsarmen multiplicirt sind; in gegenwärtiger Anwendung bedeutet dagegen p blos die horizontale Kraft, welche also noch mit ihrem Hebelsarm a multiplicirt werden muß, um die Wirkung des Halbgewölbes gegen das Widerlager auszudrücken, so daß also hier ap statt p in der Formel (Seite 248) gesetzt werden muß, wodurch sich dann obige Formel $x = \sqrt{\left(2p - \frac{2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b}{a}$ ergiebt.

Anmerk. d. Uebers.

Höhe und ein Dach von Zimmerwerk. Es fragt sich, welchen Einfluß dieser Zusatz, dessen Gewicht zur Festigkeit der Widerlager beiträgt, auf die Dicke dieser Mauern hat.

Das einfachste Mittel, dies zu erfahren, besteht darin, diese Constructionen auf eine Stirnfläche von einerlei Materie zurückzuführen und als eine Verlängerung der Widerlager anzusehen.

In diesem Modell beträgt die Erhöhung der Mauern **100** Linien; statt aus Stein von Conflans zu bestehen, ist der Zusatz aus Gyps verfertigt, dessen specifisches Gewicht nur $^3/_4$ des specifischen Gewichts jener Steinart beträgt.

Das Dach mit dem Zimmerwerk wiegt **12** Unzen. Es ist leicht ersichtlich, daß die **100** Linien betragende Höhe **EG** der Mauern, ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen, nur mit **75** Linien in Betracht kommt. Da nach Versuchen ein Stein jener Art von **576** Linien Stirnfläche und der Dicke des Modells **5** Unzen wiegt, so wird das **12** Unzen schwere Dach, in jener Steinart ausgedrückt, bei gleicher Dicke $\frac{12 \cdot 576}{5} = 1382$ Linien Stirnfläche haben. Hiervon muß die Hälfte **691** zu derjenigen der Vertikalwirkungen addirt werden, welche in den Ausdrücken $\frac{b}{a}$ und $\frac{bb}{aa}$ mit **b** bezeichnet sind. Bezeichnen wir die hierdurch aus **b** entstandene Größe mit **h**, so wird die Formel (Seite 288) zu

$$x = \sqrt{\left(2p - \frac{2pd}{a} + \frac{hh}{aa}\right)} - \frac{h}{a}.$$

Die in der Formel mit **a** bezeichnete Höhe der Widerlager ist in unserm Falle $183 + 75 = 258$.

Da **p** seinen Werth nicht ändert, so hat man, wie in der fünfzehnten Anwendung, $2p = 265{,}86$.

d, welches der Unterschied der Widerlagerhöhe und des Hebelarms ist, beträgt **75**, und es ist nun

$$\frac{2pd}{a} = \frac{265{,}85 \cdot 75}{258} = 77{,}28.$$

h ist $750{,}69 \cdot 691 = 1441{,}69$ und

$$\frac{h}{a} = \frac{1441{,}69}{258} = 5{,}58,$$

endlich $\frac{hh}{aa} = 31{,}22$.

Diese Werthe in die Formel gesetzt, geben

$$x = \sqrt{(265{,}86 - 77{,}28 + 31{,}22)} - 5{,}58 = 9{,}15.$$

Das Modell trägt sich bei 11 Linien dicken Widerlagern.

Wird blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke genommen, so findet man 13 Linien.

Hat man, hinsichtlich der geometrischen Methode, wie oben Seite 289 verfahren, so muß man von dem Resultat 17¹/₄ Linien den Werth von $\frac{h}{a}$, nämlich 5,58 abziehen, und der Rest 11²/₃ Linien ist dann die gesuchte Dicke.

Es ist hier nicht zu übersehen, daß, damit sich das Modell unterstütze, für die oberen Mauern eine Dicke von 6 Linien hinreichend ist, wenn man sie um 1 Linie nach dem Inneren von BF nach gf rückt, weil diese Art von unrichtiger vertikaler Stellung den Widerstand der Widerlager vermehrt. In der gothischen Baukunst wurde von diesem Mittel oft mit Erfolg Gebrauch gemacht, wie man ja auch die Anfänger der Spitzbogen auf Vorsprüngen ruhen läßt, um dadurch zu vermeiden, daß man den sie tragenden Mauern oder Widerlagern eine zu große Dicke geben muß. Siehe Tafel CLXXIX, Fig. 1, 3 u. 5.

Achtzehnte Anwendung.

Das Modell Figur 28 stellt einen aus elf Gewölbsteinen bestehenden Bogen vor, von denen zehn mit Haken versehen sind, um sich an horizontale Schichten anschließen zu können; der elfte bildet den Schlußstein. Der Durchmesser des Modells ist wie früher 9 Zoll oder 108 Linien.

Nachdem die Linien BF, FC, FO und die Horizontale IKL gezogen sind, ergiebt sich, wenn man von den oberhalb der Rückenlinie FC befindlichen fünf Schichten abstrahirt,

KL	= 30,73;
IK	= 23,27;
OC = BF	= 78,00;
der Bogen KD	= 32,70;
der Bogen KB	= 52,15;
KG	= 33,59;
a, welches die Höhe der Widerlager anzeigt, ...	= 198.

Die Stirnfläche des oberen Gewölbetheils **KFCD** findet man zu **1223,1**; hiervon wird das Dreieck **KFG = 390,82** abgezogen, der Rest **832,28** mit **30,73** multiplicirt und durch **32,7** dividirt, so gibt der Quotient **782,44** für die Wirkung dieses Gewölbetheils.

Die Fläche des unteren Theils ist **697,95**; hierzu das Dreieck **FKG = 390,82** addirt, die Summe **1088,77** mit **23,27** multiplicirt und durch **52,15** dividirt, giebt **485,82** für seine Wirkung.

Der in der Formel

$$x = \sqrt{\left(2p - \frac{2pd}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

(Seite **288**) mit **p** bezeichnete Druck ist dem Unterschiede **296,62** jener zwei Wirkungen gleich, also **2p = 593,24**. Da **d**, **KG** vorstellend, **33,59** ist, so wird $\frac{2pd}{a} = \frac{19926,93}{198} \ldots\ldots = 100,64$.

b, die Summe der Vertikalwirkungen bezeichnend, ist

$\frac{1921 \cdot 78}{85} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 1762,08,$

daher $\frac{b}{a} = \frac{1762,07}{198} \ldots\ldots\ldots\ldots = 8,9$

und $\frac{bb}{aa} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 79,21.$

Setzt man diese Werthe in die Formel, so erhält man $x = \sqrt{(593,24 - 100,64 + 79,21)} - 8,9 = 15,01$.

Wird blos die Wurzel aus dem doppelten Drucke genommen, so wird **x = 23,91**; diese Dicke ist indessen um zu viel zu groß, weil die vernachlässigte Summe der Vertikalwirkungen beträchtlich ist. Durch das geometrische Verfahren findet man **x = 19** Linien.

Die geringste Dicke der Widerlager, auf denen sich dieses Modell halten kann, ist **16** Linien.

Andere Auflösung durch die Methode der Schwerpunkte.

Wir nehmen an, der Gewölbstein **N**, Figur **28**, mache mit dem halben Schlußstein einen einzigen Gewölbstein aus, dessen Stirnfläche **791,79** ist. Ist der Schwerpunkt dieses Gewölbsteins gefunden, und durch ihn eine Vertikale gezogen, so ergibt sich der Abstand **fd** des Unterstützungspunktes **f** von derselben zu **15,73**. Betrachtet man nun **nfd** als einen Winkelhebel, so hat man den Ausdruck für die Kraft

welche diesen Stein auf der Fuge hf erhält, $\frac{791{,}79 \cdot 15{,}73}{28{,}88} = 431{,}26$ für den Werth p in der Formel (Seite 290)

$$x = \sqrt{\left(2p - \frac{2bc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}.$$

Da b, welches die Stirnfläche des Halbgewölbes anzeigt, $= 1921{,}14$ und c, welches den Abstand des Punktes B von der durch den Schwerpunkt des Halbgewölbes gehenden Vertikalen bezeichnet, $= 22{,}14$ ist, so ergibt sich $2bc = 2 \cdot 1921{,}14 \cdot 22{,}14 = 85068{,}08$, daher $\frac{2bc}{a} = \frac{85068{,}08}{198} = 429{,}13$; $\frac{b}{a} = \frac{1921{,}14}{198} = 9{,}7$ und $\frac{bb}{aa} = 94{,}09$.

Durch Substituirung dieser Werthe in die Formel findet man $x = \sqrt{(862{,}52 - 429{,}13 + 94{,}09)} - 9{,}7 = 13{,}26$ statt 15,01 Linien, welche durch die andere Methode gefunden wurden.

Um die Dicke der Widerlager auf geometrischem Wege zu erhalten, macht man Km = IK, trägt, wie oben, mL von B nach h und 2CD von B nach n. Wird nun über nh ein Halbkreis beschrieben, so schneidet er von der verlängerten Horizontalen OB in E die gesuchte Dicke BE = $18^3/_4$ Linien ab. Diese Dicke ist nun den Widerlagern eines horizontal nach der Linie FC abgeglichenen Gewölbes angemessen, dessen Durchschnitt die Figur vorstellt.

Es ist hier an seinem Orte, zu bemerken, daß wenn man auf diesen Bogen mehrere Schichten Quadersteine legt, um eine Mauer in Hausteinen zu erhalten, man dadurch den Druck auf die Widerlager nicht nur nicht vermehrt, sondern vielmehr ihre Widerstandsfähigheit erhöht, dergestalt, daß sich der Bogen alsdann mit mehr Solidität trägt, und man selbst den Widerlagern eine geringere Dicke geben kann, als durch die zwei Methoden für den Zustand des Gleichgewichts gefunden wurde. Drei Schichten reichen hin, um die Wirkung des Drucks aufzuheben, und wenn deren fünf genommen werden, so kann der Schlußstein und der darüber befindliche Stein ganz wegbleiben. Dieß beweist, daß die auf Bogen aufgeführten Mauern häufig deren Druck aufheben, anstatt ihn zu vermehren, weil sich eine Art natürlichen Gewölbes durch Vorsprünge bildet, wie dies Figur 28, so wie Figur 1 Tafel XVI und Figur 9, Tafel CLXXV zeigt.

In Bezug auf die in einigen Beispielen angewendete Einrichtung mit Verkröpfungen an den Steinen darf nicht übersehen werden, daß man dergleichen nur bei Bogen von schwachen Dimensionen zugeben darf, und blos, wenn die Häupter der Gewölbsteine in den Mauerschichten eine vollkommene Verkröpfung bilden können, so daß diese beiden Constructionen beinahe unabhängig von einander werden. In diesem Falle schränkt sich ihr Zweck blos darauf ein, dem Fortgleiten der Gewölbsteine bei der unvermeidlichen Bewegung vorzubeugen, welche im Ganzen statt hat, wenn sich alle Theile setzen. Bei großen Bogen aber könnte dies Mittel die Wölbung nur verhindern, nach der Ausrüstung ihre natürliche Krümmung anzunehmen, wenn anders die Steine fest genug wären, um nicht gerade am Knie der Gewölbsteine zu brechen. Aus diesem Grunde muß die Einrichtung mit Kragsteinen, nach dem Beispiele der Römer von Vespasian an (Siehe 2. Band, Seite 139), bei Bogen von einer großen Oeffnung immer vorgezogen werden.

Neunzehnte Anwendung.

Das Gewölbemodell Figur 25, auf welches wir jetzt die Formel anwenden wollen, ist nach einem Kreisbogen abgeglichen, der nicht mit dem Bogen der inneren Wölbung concentrisch ist, und zwar so, daß die Dicke von unten bis in die Mitte des Schlußsteins abnimmt; sein Durchmesser beträgt, wie bei den zwei vorhergehenden Modellen, 9 Zoll oder 108 Linien. Seine Dicke ist am Scheitel 4, gegen die Mitte der Gewölbewinkel $7^1/_2$ und unten am Anfang $14^1/_2$ Linien.

Der Mittelpunkt N des Kreisbogens, nach welchem der Rücken gekrümmt ist, liegt um den sechsten Theil der Sehne AO unter dem der inneren Wölbung, so daß also der Halbmesser

DN . . . = 68,05,
KL . . . = 38,18,
IK . . . = 15,82,
Bogen BK = KC . . . = 42,43 ist.

Die Fläche des oberen Theils KHDC = 258,75, die des unteren BAHK = 486,5.

Nach diesen Werthen erhält man $\frac{258{,}75 \cdot 38{,}18}{42{,}43} = 232{,}47$ für den Ausdruck der Wirkung des oberen Theils.

Da das halbe Segment ABe als mit dem Widerlager vereinigt angenommen wird, so bleibt blos der Theil BeHK mit der Fläche 178, als dem oberen Theil entgegenwirkend; sein Werth ist $\frac{178 \cdot 15{,}82}{42{,}43} = 66{,}24$.

Die Differenz 166,23 dieser zwei Wirkungen ist der Ausdruck des in der Formel (Seite 266)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

durch p bezeichneten Drucks. 2p ist daher . . . 332,48;
IB = KL, mit d bezeichnet, ist 38,18, mithin 2pd = 12693,92.
Die Vertikalwirkung des oberen mit m bezeichneten

Theils wird $\frac{258{,}75 \cdot 1582}{42{,}43} = 96{,}30$, also 2m = 192,60,

und da c = 15,82 ist, so hat man 2mc . . . = 3046,50.
Da die Höhe der Widerlager immer 120 ist, so findet

man $\frac{2pd - 2mc}{a} = \frac{12693{,}92 - 3046{,}5}{120}$. = 80,39;

b, welches die durch FB vorgestellte Vertikalwirkung

des Halbgewölbes anzeigt, ist $\frac{745{,}26 \cdot 54}{84{,}85}$ . . = 473,48,

daher $\frac{b}{a} = \frac{473{,}48}{120}$ . . . . . = 3,95

und $\frac{bb}{aa}$ . . . . . = 15,56.

Diese Werthe in die Formel gesetzt geben
$x = \sqrt{(332{,}46 + 80{,}39 + 15{,}56)} - 3{,}95 = 16{,}74$ Linien.

Die geringste Dicke der Widerlager, auf denen sich dieses Modell unterstützt, ist $17^1/_2$ Linien.

Um diese Dicke durch geometrische Construction zu finden, muß man, statt wie früher das Doppelte von CD zu nehmen, hier die doppelte mittlere Dicke HK von B nach h und mL von B nach n tragen, und dann wie gewöhnlich über hn einen Halbkreis beschreiben, so schneidet dieser die gesuchte Dicke EB = gleich $18^1/_3$ Linien ab.

Ginge das Widerlager bis e, nämlich bis dahin, wo die Wölbung von ihm abweicht, so würde a = 151,5 statt 120 seyn, und die Differenz b würde statt $\frac{745{,}26 \cdot 54}{85}$ nur $\frac{437{,}75 \cdot 54}{85} = 277{,}46$ betragen.

d, durch le ausgedrückt, würde 6,5. Da nun alle andere Werthe unverändert wie im vorigen Beispiele bleiben, so reducirt sich die Gleichung auf

$$x = \sqrt{(432{,}46 - 5{,}71 + 3{,}35)} - 1{,}83$$

woraus $x = 16{,}33$ wird.

Durch die Methode mittelst der Schwerpunkte findet man 15,84, und durch den Versuch 16¹/₄.

Dritter Artikel.

In den bisherigen Anwendungen haben wir die Gewölbe mehr als Bogen, getragen von Widerlagern, denn als auf Mauern von einer gewissen Länge ruhend betrachtet. Nun wollen wir sie unter diesem letzten Gesichtspunkte, und als zur Deckung von durch Mauern eingeschlossenen Räumen bestimmt, untersuchen.

Hinsichtlich der Tonnengewölbe, auf parallelen Mauern ruhend, ist es klar, daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern nicht im Verhältniß ihrer Länge, wie die Wirkung des Gewölbes, zunimmt; denn denkt man sich die Länge des Gewölbes in eine unendliche Menge Theile, wie C, D, E, Figur 30, Tafel CLXXXXV, getheilt, so findet man für alle einerlei Dicke der Widerlager, so daß alle diese Widerlager zusammen eine einzige Mauer von einerlei Dicke ausmachen. Aus diesem Grunde wurde in den vorhergehenden Beispielen auch nur die Stirnfläche der Bogen und ihrer Widerlager, welche als ein Durchschnitt oder Profil anzusehen ist, in Betracht genommen. Man kann demnach sagen, daß die für das Profil eines Gewölbes gefundene Mauerdicke jeder Länge des Gewölbes angemessen ist, vorausgesetzt, daß diese Mauern isolirt stehen, und das Gewölbe an seinen Enden nicht durch andere Mauern geschlossen ist.

Sind aber die Tonnengewölbe an ihren Enden durch Giebelmauern geschlossen, die das Profil des Gewölbes bilden, so ist leicht einzusehen, daß die von Seiten der Gewölbe zum Umstürzen ihrer Widerlager erforderliche Kraft desto größer seyn muß, je näher jene Giebelmauern beisammenstehen. Es läßt sich daher auf diese Widerlager die Regel anwenden, welche wir schon oben Seite 124 für Mauern angezeigt haben, die einen Raum einschließen, daß man nämlich ihre Länge von R nach T, Figur 24, Tafel CLXXXXIV, tragen, und, nachdem die schiefe Linie TB gezogen, auf ihr Ba gleich der für das Profil gefundenen Dicke machen, endlich durch a eine Vertikale fällen muß,

durch welche dann die Dicke eB gefunden wird, die für diese Mauern, wegen der großen Widerstandsfähigkeit, welche ihnen die Giebelmauern verschaffen, hinreichend ist. Es ist noch zu bemerken, daß durch Verbindung der Gewölbe mit den Giebelmauern ihr Druck sehr vermindert wird, besonders wenn letztere nur wenig von einander entfernt sind. Finden sich hohle Räume in den Mauern, so muß man ihre Länge um das Doppelte dieser Oeffnungen, so wie auch derjenigen vermehren, die etwa in den Giebelmauern angebracht sind.

Figur 11., Tafel CLXXXXIII zeigt, daß wenn die Mauern nicht dick genug sind, um dem Drucke der Gewölbe zu widerstehen, diese unterhalb des Scheitels und gegen die Mitte der Gewölbewinkel sich oberhalb öffnen, woraus folgt, daß man den Druck eines Gewölbes in Hausteinen dadurch wegschafft, daß man die Gewölbsteine zunächst des Schlußsteins unten und die in der Mitte der Gewölbwinkel oben durch Klammern an einander befestigt. Dieses Mittel dürfte den Ketten oder Zugbändern vorzuziehen seyn, welche man auf den Gewölberücken anbringt, weil diese Zugbänder nicht verhindern können, daß eine Abweichung nach unten entstehe, die zum völligen Ausgleiten der Fugenflächen hinreichend ist, wenn deren obere Kanten schon durch die Wirkung des Drucks ausgebrochen sind.

Obgleich die an den Anfängern angebrachten Ketten vortheilhafter sind, so können sie den Bruch gleich dicker Gewölbe und das Einstürzen derselben, wenn sie zu dünn sind, nicht verhindern, weil sie sich nicht der in den Gewölbewinkeln entstehenden Ausbauchung entgegenstellen, die derjenigen ähnlich ist, welche ein an beiden Enden befestigter halber Reif erleidet, auf dessen Mitte man drückt. Die vortheilhafteste Lage einer horizontalen Kette, die dem Drucke eines Gewölbes entgegenwirken soll, dürfte die seyn, daß man sie durch den Punkt K gehen ließe, in welchem die Vereinigung beider Wirkungen stattfindet.

Vergleichung unserer Methode mit den Methoden von P. Deran, Gauthier, Belidor und den Resultaten der Versuche.

Die Methode des Pater Deran besteht darin, daß man den inneren halben Bogen eines jeden Gewölbes in drei gleiche Theile theilt, Figur 1, 2 und 3, Tafel CLXXXXIV bis. Nachdem hierauf die Sehne A2 gezogen und unbestimmt verlängert ist, trägt man die

Länge **A2** von **A** na **4** und zieht durch diesen Punkt eine Vertikale **D4F**, so bestimmt diese mit **AE** die der Mauer zu gebende Dicke.

Man sieht an diesem, sich auf kein Princip stützenden Verfahren, daß dabei weder auf die Dicke des Gewölbes noch auf die Form seines Rückens Rücksicht genommen ist. Daher rührt es, daß auf diesem Wege die Dicke für das zweite Modell zu klein und für alle andere Modelle zu groß gefunden wird, besonders für das gothische Gewölbe und für ein horizontal abgeglichenes Gewölbe im vollen Halbkreis, wo diese Regel beinahe die doppelte Dicke des Versuchs liefert. Man hat Ursache, darüber zu erstaunen, daß diese Methode von Franz Blondel und dem Pater Dechalles, die Mathematiker waren, angenommen wurde. Indessen ist diese Methode doch noch weniger fehlerhaft, als die von Gauthier, der sie verbessert zu haben behauptete. Nach der Methode des letzteren wird blos auf den Durchmesser und die Bogenhöhe Rücksicht genommen.

Wie demnach auch die Curve der Gewölbekrümmung, die Dicke und die Gestalt des Rückens seyn mag, so fängt man damit an, vom Anfang der Krümmung nach der Mitte des Schlußsteins eine gerade Linie **BC**, Figur **1**, **2**, **3** und **4**, Tafel **CLXXXXIV** bis, zu ziehen, beschreibt hierauf aus **B** mit **BC** den Viertelskreis **DCG**, zieht dessen Sehne **DG** und durch deren Durchschnitt **I** mit **BC** eine unbestimmte Horizontallinie. Auf dieser wird **LX = IL** gemacht und durch **K** endlich die Vertikale **KR** gezogen, welche mit der Parallelen **BR** die Dicke der Mauer oder des Widerlagers bestimmt. Diese auf eine falsche Ansicht sich gründende Methode giebt eine viel beträchtlichere Dicke, als die vorhergehende, und außerdem wird diese Dicke noch für alle Arten von Gewölben beinahe gleich. Die Dicke für gothische und für horizontal abgeglichene Gewölbe im vollen Bogen wird beinahe das Dreifache derjenigen, die man durch den Versuch erhält.

Wir haben in nachstehender Tabelle die Resultate der verschiedenen, so eben betrachteten Methoden, so wie der analytischen Methode Belidor's zusammengestellt. Was letztere betrifft, so sieht man, daß sie, obgleich auf wahre Gesetze der Mechanik gegründet, doch stärkere Resultate liefert, als sich durch die Versuche ergeben; die Ursache hiervon liegt in der Uebertreibung der Hypothese, auf welche sich die Rechnungen stützen; übrigens läßt sich bemerken, daß die nach dieser Methode erhaltenen Resultate denen der Versuche mehr proportional sind, als die Ergebnisse der Methoden von P. Deran und Gauthier.

Schließlich würde die Belidor'sche Methode den Vortheil haben, daß man in keinem Falle die durch sie erhaltene Mauerdicke zu vermehren brauchte.

Aus der Tabelle ergiebt sich auch, daß die von mir vorgeschlagene analytische Methode am meisten mit der Erfahrung durch Versuche übereinstimmt, durch welche letztere immer etwas größere Resultate erhalten werden, weil es unmöglich ist, Modelle so genau zu machen und Materien dazu von der Art zu finden, daß ihre Resultate vollkommen mit den mathematischen übereinstimmen. Um daher die verlangte Festigkeit ganz zu erhalten, muß man zum Ergebniß der Formel noch ein Sechstel hinzufügen.

Da meine geometrische Methode stärkere Resultate gibt, so braucht man dazu nur ein Achttheil zu addiren, und da die Wirkung der Gewölbe desto größer ist, eine je geringere Bogenhöhe sie haben, so trägt man diese Vermehrung auf die Verlängerung einer Linie, welche von der Mitte des Schlußsteins nach dem Anfang der Krümmung gezogen wird.

Tabelle über die Dicke, welche den Widerlagern der Modelle von verschieden gestalteten Tonnengewölben nach den Methoden von Pater Deran, Gauthier, nach der Belidor'schen Formel und der von mir vorgeschlagenen analytischen und geometrischen Methode zu geben ist, nebst der durch Versuche mit denselben Modellen erhaltenen Dicke.

Anwendung	Seite	Benennung der Gewölbe	Methode von					Versuche
			Deran	Gauthier	Belidor	Rondelet analytische	Rondelet geometrische	
			Linien	Linien	Linien	Linien	Linien	Lin.
1	258	Gewölbe im vollen Bogen von 36¼ Zoll Durchm., gleicher, 3 Z. betrag., Dicke, in 4 Theile getheilt u. auf Widerlagern v. 40½ Z. Höhe ruhend	108¼	152⅔	104	69½	84	75
2	263	Modell derselben Art von 9 Z. Durchm., überall 21 Lin. dick, in 9 Theile getheilt, mit 16¼ Z. hohen Widerlagern	27	39	40 1/11	28⅔	33⅓	30
3	264	Modell ders. Art von 9 Z. Durchm., überall 9 Lin. dick, in 4 Theile getheilt, mit 10 Z. hohen Widerl.	27	39	26	20⅛	21½	21
4	268	Ueberhöhtes Gewölbe von 9 Z. Durchm. u. 9 Lin. Dicke auf 6 Z. 9 Lin. Bogenhöhe, auch in 4 Theile getheilt mit 10 Z. hohen Widerlagern und elliptischer Wölbung	23	39	22¾	16¾	18¾	17
5	269	Modell ders. Art; Dimensionen u. Theilung eben so; Wölbung nach der mehr als die Ellipse offenen Cassinoide	22	39	24	19⅔	20¾	20¼
6	270	Modell ders. Art; Dimensionen u. Theilung eben so; Wölbung nach der mehr als die Ellipse geschlossenen Cycloide	24	39	21⅕	14⅔	17¼	15
7	272	Gothisches Gewölbemodell; Dimensionen und Theilung eben so; Wölbung aus am Scheitel einen Winkel bildenden Kreisbogen . . .	25½	39	22¼	12½	15 9/10	14
8	273	Parabol. Modell; Dimens. u. Theil. wie vorhin	26½	39	19½	15⅞	21 3/10	17
9	274	Modell nach der Kettenlinie; Dimensionen und Theilung wie vorhin	26	39	16⅓	14⅔	20	16
10	277	Gedrücktes elliptisches Modell, Durchmesser und Theilung wie vorhin, 35 Linien Bogenhöhe	31	38	31⅙	25⅕	25⅘	26
11	278	Modell ders. Art; nach der Cassinoide gewölbt; Dimensionen und Theilung wie vorhin . .	30	38	28 9/10	26⅔	26⅘	27
12	279	Modell ganz wie d. vor. nur nach d. Cycl. gewölbt	31½	38	29 1/7	24 5/6	25⅔	26
13	282	Modell eines hängenden Bogens, von 9 Z. Durchm., durchaus 9 Lin. dick, in 4 Theile getheilt; für das große Widerlager von 14¼ Z. Höhe	33¼	50	25⅔	23	23½	22
		Für das kleine, 10 Zoll hohe Widerlager . .	18⅓	26½	21 4/9	16	19	18
14	284	Modell ders. Art jedoch versch. gekr. Wölbung; Dimens. wie vorhin; für das große Widerlager	39¾	55¾	27	23½	23⅓	22
		Für das kleine	13¾	19½	25 1/11	18 9/10	21⅕	19½
15	286	Modell im vollen Zirkel, 9 Z. Durchm., 9 Lin. gleicher Dicke; die innere Linie des Widerlagers bis zum Rücken verlängert	27	39	24¾	18	21	19½
16	287	Modell ders. Art, Höhe u. Durchmesser eben so, horizontal abgeglichen	27	39	29½	12 8/10	17 8/10	14
17	290	Modell wie vorhin mit einer aus zwei Mauern und einem Dach bestehenden Etage darauf	27	39	18	9 12/15	11⅔	11
18	292	Bogenmodell aus 11 zum Anschluß an horizontale Schichten gekröpften Gewölbsteinen bestehend	27	39	49	15	19	16
19	295	Modell von ungleicher Dicke, 4 Lin. dick am Schlußstein u. 14½ an den Anfängern . .	27	39	18 1/7	16¾	18⅓	17½

Zweites Kapitel.

Vom Drucke der zusammengesetzten Gewölbe.

Indem Frezier von dem Drucke dieser Gewölbe spricht, schlägt er zur Bestimmung ihrer Widerlagerdicke vor, auf die gewöhnliche Art die Dicke zu suchen, welche den Theilen **BN**, **BK**, Fig. **32**, Taf. **CLXXXXV**, der Tonnengewölbe zukommt, die durch ihr Zusammenstoßen die Rippe **BO** bilden; so daß, wenn die Dicke, welche dem Gewölbetheil **BN** entspricht, von **B** nach **E**, und die dem Theile **BK** entsprechende Dicke von **B** nach **F** getragen wird, das dadurch entstehende Widerlager **BEHF** nun genüge, um dem Drucke des Viertelsgewölbes **OKBN** zu widerstehen.

Durch dieses Verfahren findet man, daß die Widerlager, welche ein Fach oder Feld eines Kreuzgewölbes von **9** Zoll Durchmesser auf **120** Linien Höhe in jeder Richtung nur eine Dicke von **21** Linien zu haben brauchten, während doch Versuche beweisen, daß sich ein dergleichen Gewölbe kaum auf Widerlagern erhalten kann, deren Durchschnitte Quadrate von **44** Linien Seite, also über viermal so groß sind, als der Durchschnitt nach Frezier's Angabe; er hat dabei außer Acht gelassen, daß in dergleichen Gewölben der drückende Theil sechsmal beträchtlicher ist, als der widerstehende (während in gewöhnlichen Tonnengewölben diese beiden Theile gleich sind), wodurch ein viermal größerer Druck entsteht.

Zwanzigste Anwendung — auf das Modell eines Kreuzgewölbes.

Das Modell, auf welches diese Anwendung gemacht werden soll, hat **9** Zoll Durchmesser, überall **9** Linien Dicke und ruht auf Widerlagern von **10** Zoll oder **120** Linien Höhe.

Das Modell besteht, wie Figur **22** zeigt, aus zwei, sich rechtwinklig kreuzenden, halbkreisförmig gekrümmten Gewölben von gleichem Durchmesser. Da seine vier Gewölbtheile einander gleich sind, so ist es hinreichend, die Wirkung eines derselben gegen das zugehörige Widerlager zu suchen.

Nachdem, wie gewöhnlich, das Profil Figur **29** entworfen, der mittlere Kreisbogen **TKG** beschrieben, die zwei Tangenten **FT**, **FG**, die Secante **FO** und die Horizontale **IKL** gezogen sind, errichtet man die Vertikale **Bi**, und trägt **KL** im Grundriß, Figur **32**, von **N** nach **G** und von **K** nach **I**.

In den vorhergehenden, sich auf halbkreisförmig gekrümmte Bogen und Gewölbe beziehenden, Anwendungen hatten wir nur nöthig, die Fläche des Profils zu betrachten, die in der ganzen Länge des Gewölbes unveränderlich blieb. Die Gewölbe aber, von denen hier die Rede ist, sind aus einzelnen dreieckigen Gewölbtheilen zusammengesetzt, deren Profile an jeder andern Stelle anders sind; es ist daher hier nöthig, den cubischen Inhalt statt der Profilflächen in Rechnung zu ziehen und die bisherigen Linien durch Flächen zu ersetzen. Bei der Betrachtung des dreieckigen Theils **KBO**, wird daher die im Profil durch **KL** bezeichnete Summe der Horizontalwirkungen des oberen Theils dieses Gewölbeabschnitts, im Grundriß durch das Trapez **KILO**, und die Summe der im Profil mit **iK** bezeichneten Horizontalwirkungen des unteren Theils im Grundriß durch das Dreieck **BIL** vorgestellt.

Der Druck selbst wird ausgedrückt durch die Differenz jener beiden Flächen, multiplicirt mit der Dicke des Gewölbes. Da nun **KB** und **KO** des Grundrisses $= 54$ ist, so wird der Inhalt des Dreiecks **BKO** $= 54 \cdot 27 = 1458$; ferner ist **BK** im Grundriß $=$ **IL** des Profils und eben so **BI** $=$ **iK** $= 12\,^{9}/_{14}$, mithin die Fläche des Dreiecks **BIL**, welche die Summe der Horizontalwirkungen des unteren Theils anzeigt, $= 12\,^{9}/_{14} \cdot 6\,^{9}/_{28} = 79\,^{13}/_{14}$.

Das Trapez **KILO** ist dem Unterschiede der Dreiecke **BKO** und **BIL** gleich, also $1458 - 79\,^{13}/_{14} = 1378\,^{1}/_{14}$ als Ausdruck der Horizontalwirkungen des oberen Theils. Zieht man nun jene Summe $79\,^{13}/_{14}$ von $1378\,^{1}/_{14}$ ab, und multiplicirt den Rest $1298\,^{2}/_{14}$ mit der Gewölbedicke **9**; so ist das Produkt $11{,}683\,^{2}/_{7}$ der in der Formel

(Seite 266)

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{bb}{aa}\right)} - \frac{b}{a}$$

durch p bezeichnete Druck.

Bezeichnen wir, wie immer, die Höhe der Widerlager mit a, und die Linie TI des Profils mit d, so ist, wie oben, der Hebelsarm des Drucks $= a + d$ und $pa + pd$ die algebraische Bezeichnung der Wirkung dieses Drucks.

Dieser Wirkung widersteht das Widerlager durch seinen Inhalt multiplicirt mit seinem Hebelsarme.

Werden die Seiten KB und OB des Dreiecks BKO, welches die Projection des fraglichen Gewölbetheils ist, verlängert, so ist ersichtlich, daß die Basis des seinem Drucke Widerstand leistenden Pfeilers durch das entgegengesetzte Dreieck BHF vorgestellt wird. Dieses Dreieck ist rechtwinkelig und gleichschenkelig, hat daher, wenn $BF = x$ gesetzt wird, den Inhalt $\frac{xx}{2}$, und da die Höhe des Pfeilers a ist, so ist dessen Inhalt $\frac{axx}{2}$.

Der Hebelsarm dieses Pfeilers ist der Abstand der durch seinen Schwerpunkt gehenden Vertikalen von der Linie HF, und ist ein Drittheil dieser Linie, also $\frac{x}{3}$. Der Ausdruck des Widerstandes von Seiten des Pfeilers ist daher $\frac{ax^3}{6}$.

Dieser Widerstand wird noch durch die Vertikalwirkung eines jeden Gewölbetheils, multiplicirt mit seinem Hebelsarme, vermehrt. Diese Vertikalwirkung des oberen dieser Theile wird ausgedrückt durch dessen Inhalt, multiplicirt mit der Vertikalen KM und dividirt durch den Bogen KG. Der Inhalt aber ist gleich der mittleren, durch den Bogen KG bezeichneten Fläche, multiplicirt mit der Gewölbedicke.

Diese mittlere Fläche erhält man durch Multiplikation des Bogens KG weniger KM, mit der aus dem Grundriß genommenen Länge GO. (Dies beweist M. Mauduit, dans ses Elémens de Géometrie, art. 387, pag. 222 et 223, édition de 1773.)

Die Länge des Bogens KG ist 46 und $KM = 17\frac{1}{7}$, daher $KG - KM = 28\frac{6}{7}$; da nun $GO = 54$ ist, so ist die erwähnte mittlere Fläche $28\frac{6}{7} \cdot 54 = 1558$. Diese mit der Gewölbedicke 9

multiplicirt, giebt den Inhalt $14024^4/_7$ des oberen Theils. Dieser Inhalt mit $KM = 17^1/_7$ multiplicirt, und durch den Bogen $KG = 46$ dividirt, giebt $5226^3/_5$ für den in der Formel durch m bezeichneten Werth der Vertikalwirkung des mehrerwähnten oberen Theils. Sein Hebelsarm ist iK + iH. Da nun iK mit c und iH mit x bezeichnet ist, so ist der Hebelsarm c + x und der Ausdruck der eben erwähnten Wirkung mx + mc.

Die Wirkung des unteren Theils wird ausgedrückt durch seinen mit TI multiplicirten und durch den Kreisbogen TK dividirten Inhalt. Dieser Inhalt aber ist ein Produkt aus der mittleren Fläche in die Gewölbedicke; diese Fläche ist gleich dem Bogen TK — TI, multiplicirt mit GO, also $(46 - 41^5/_{14}) \cdot 54 = 250^5/_7$, welches mit der Dicke 9 multiplicirt $250^5/_7 \cdot 9 = 2256^3/_7$ für den Inhalt des unteren Gewölbetheils giebt. Nun hat man nach dem so eben Gesagten $\frac{2256^3/_7 \cdot TI}{TK} = \frac{2256^3/_7 \cdot 41^5/_{14}}{6} = 2028^2/_3$ für den in der Formel mit n bezeichneten Werth der Vertikalwirkung des unteren Gewölbetheils. Da diese Wirkung im Punkt B wirksam ist, so ist ihr Hebelsarm $BF = x$ und ihr Ausdruck oder Moment $= nx$.

Werden nun alle diese algebraischen Werthe gehörig zusammen gesetzt, so ergiebt sich die Gleichung $pa + pd = \frac{ax^3}{6} + mx + mc + nx$

oder, wenn man $m + n = b$ setzt, $pa + pd = \frac{ax^3}{6} + bx + mc$.

Hieraus folgt nach gehöriger Reduction die unvollständige cubische Gleichung $x^3 + \frac{6bx}{a} = 6p + \frac{6pd - 6mc}{a}$.

Um diese Gleichung leicht auflösen zu können, wollen wir zuerst die Werthe von $6p + \frac{6pd - 6mc}{a}$ und $\frac{6b}{a}$ suchen.

Da $p = 11683^2/_7$ ist, so folgt $6p = 70069^5/_7$;
„ $d = 41^5/_{14}$ „ „ $6pd = 2899124^3/_7$;
„ $m = 5226^3/_5$ „ „ $6mc = 537593^1/_7$; also

$\frac{6pd - 6mc}{a} = \frac{2361537^2/_7}{120} = 19679^5/_{14}$ und $6p + \frac{6pd - 6mc}{a} = 89779^1/_7$, welche Zahl wir, der Abkürzung wegen, mit g bezeichnen wollen.

$b = m + n = 5226^3/_5 + 2038^2/_3 = 7255^2/_3$; daher $\frac{6b}{a} = \frac{43534}{120} = 362^3/_4$, welche Zahl gleich f ſey. Hierdurch reducirt ſich obige Gleichung

$$x^3 + \frac{6bx}{a} = 6p + \frac{6pd - 6mc}{a}$$

auf $x^3 + fx = g$.

Aus dieſer Gleichung ergiebt ſich nach einer Formel, die ſich in jeder Lehre von den cubiſchen Gleichungen findet,

$$x = \sqrt[3]{\left(\frac{g}{2} + \sqrt[2]{\left(\frac{gg}{4} + \frac{f^3}{27}\right)}\right)} + \sqrt[3]{\left(\frac{g}{2} - \sqrt[2]{\left(\frac{gg}{4} + \frac{f^3}{27}\right)}\right)}.$$

Durch Subſtitution obiger Werthe von g und f in dieſe Gleichung wird

$$x = \sqrt[3]{\left(44889^1/_7 + \sqrt[2]{(2015073623 + 1767902)}\right)} + \sqrt[3]{\left(44889^1/_7 - \sqrt[2]{(2015073623 + 1767902)}\right)}$$
$$= \sqrt[3]{(44889^1/_7 + 44909^2/_7)} + \sqrt[3]{(44889^1/_7 - 44909^2/_7)}$$
$$= 44^3/_4 - 2^3/_4$$
$$= 42$$ für die Länge einer der Seiten des dreieckigen Widerlagers **BAF**; die andere Seite **FA** ergiebt ſich durch Verlängerung der Diagonale oder Rippe **OB**. Der dem Gewölbetheil **BNO** zugehörige Theil des Widerlagers wird erhalten, wenn man durch die Punkte **B** und **A** Parallellinien **BM, MA** mit **FA** und **FB** zieht.

Dieſe zwei Dreiecke bilden eine quadratförmige Baſis, deren Seiten alle **42** Linien lang ſind, und welche dem vierten Theil **KBNO** des ganzen Gewölbes entſpricht. Zur Unterſtützung dieſes Gewölbes ſind daher vier Pfeiler nöthig, deren Grundflächen Quadrate von **42** Linien Seite ſind.

Dieſes Reſultat ſtimmt ſo genau als möglich mit dem Verſuch überein; denn das Modell ſteht kaum auf Pfeilern von $43^1/_2$ Linien.

Macht man von den Schwerpunkten Gebrauch, so findet man den Abstand **hg** der durch den Schwerpunkt des oberen Theils des Gewölbes gehenden Vertikalen vom Unterstützungspunkte **h** gleich **23,28** und **gn = 24,84**, wodurch $p = \frac{14024{,}57 \cdot 23{,}28}{24{,}84} = 13143{,}8$ und **6p = 78862,8** wird. Da **d**, welches **os** vorstellt, **63** ist, so hat man **pd = 828059,4** und **6pd = 4968356,4**.

Statt **mc**, welches die Vertikalwirkung des oberen Gewölbetheils in der vorhergehenden Anwendung bezeichnet, hat man das Gewicht beider Gewölbetheile durch ihren Inhalt = **16281**, den wir mit **b** bezeichnen. Deutet nun ferner **c** den Abstand **mA** des Schwerpunkts beider Gewölbetheile an, so hat man **bc = 16281 · 24,75 = 402954,75** und **6bc = 2417728,50**, wodurch

$$6p + \frac{6pd - 6bc}{a} = 78862{,}8 + \frac{4968356{,}4 - 2417728{,}5}{120}$$ wird,

welches sich auf **100118 = g** reducirt. Da ferner **b = 16281** und **a = 120** ist, so wird $\frac{6b}{a} = 814$. Durch Substituirung dieser Werthe in die Formel

$$x = \sqrt[3]{\left(\frac{g}{2} + \sqrt[2]{\left(\frac{gg}{4} + \frac{f^3}{27}\right)}\right)} + \sqrt[3]{\left(\frac{g}{2} - \sqrt[2]{\left(\frac{gg}{4} + \frac{f^3}{27}\right)}\right)}$$

wird $x = \sqrt[3]{\left(50059 + \sqrt[2]{(2505903481 + 19976042)}\right)} + \sqrt[3]{\left(50059 - \sqrt[2]{(2505903481 + 19976042)}\right)}$

$= \sqrt[3]{(50059 + 50268)} + \sqrt[3]{(50059 - 50268)}$

$= 46{,}46 - 5{,}93$

$= 40{,}53$, statt der oben gefundenen **42** Linien.

Die erste, oben Seite **303** aus einander gesetzte Methode verdient daher den Vorzug, obgleich auch ihre Resultate noch unter den durch den Versuch gegebenen Grenzen liegen.

Da die geometrische Methode auf diese Art Gewölbe nicht anwendbar ist, so kann man **BF** und **BA** dem Doppelten dessen gleich machen, was man für ein Tonnengewölbe von derselben Art, Form und Größe findet. So hat das fragliche Modell mit dem der dritten Anwendung gleichen Durchmesser, gleiche Wölbung und Dicke, und es sind für dasselbe **21** $^3/_4$ Linien, statt der **43** $^1/_2$ Linien, welche hier der Versuch als nöthig zeigt, gefunden worden.

Es wird bei diesen Anwendungen vorausgesetzt, daß diejenigen Gewölbetheile, welche Oeffnungen oder Kappen bilden, sich nicht in die Dicke der Widerlager erstrecken. Wäre dies aber der Fall, so würde ihr Gewicht die Widerstandsfähigkeit der Pfeiler vermehren, und es würde hinreichen, den Seiten **B′F′B′M′**, Figur **32**, diejenige Dicke zu geben, welche den entsprechenden Gewölbetheilen angemessen ist, nämlich **F′C**, **DM′**, d. h. man kann den Theil **CHDA** weglassen, oder, was dasselbe ist, den Seiten **B″F″**, **B″M″** des viereckigen Pfeilers **1** $^3/_4$ mal die für die entsprechenden Tonnengewölbe gefundene Dicke geben, wie dies Versuche lehren.

Es ist leicht zu begreifen, daß für Gewölbe, deren Grundrisse andere Vierecke statt Quadrate sind, die Pfeiler dieselbe Gestalt haben müssen, und daß man bei ungleichen Seiten das Verfahren für jedes Widerlager widerholen muß.

Bestehen die Kreuzgewölbe aus mehreren Feldern, wie die durch Figur **33** und **34** vorgestellten, so bedürfen blos die Pfeiler an den äußersten Ecken einer so großen Dicke. Da die mittleren ringsum mit Strebepfeilern versehen sind, so haben sie nur das Gewicht der Gewölbetheile zu tragen, die ihnen entsprechen, und es ist hinreichend, daß ihr Flächendurchschnitt diesem Gewicht und der Festigkeit der Steinart angemessen ist, wie dies das Beispiel beweist, welches wir schon an der, durch die Figuren **2** und **3**, Tafel **CLXXIX** vorgestellten, Kirche zu St. Toussaint d'Angers angeführt haben. Indessen ist zu bemerken, daß die Mauern, welche dies Gewölbe einschließen, eine viel größere Dicke haben, als nöthig ist, um den Wirkungen seines Druckes zu widerstehen. In einer guten Construction ist es besser, daß die Durchschnittsfläche der Unterstützungspunkte so vertheilt ist, daß sie jedem eine hinreichende Stabilität verschaffen, weil ein einziger schwacher Punkt, wenn er nachgiebt, den Ruin des ganzen Gewölbes zur Folge haben kann.

Die leichteste praktische Methode, welche am besten mit der Theorie und den Versuchen übereinstimmt, ist folgende. Es sey **ABCD**, Fig. **33** u. **34**, Taf. **CLXXXXV**, die Gestalt des Raums, den man durch ein, in der Mitte mit einem Pfeiler **E** versehenen, Kreuzgewölbe überdecken will. Nachdem jede Seite in zwei gleiche Theile getheilt ist, zieht man die, sich in der Mitte **E** kreuzenden, Linien **HI**, **FG** und die Diagonalen **AE**, **EB**, **EC**, **ED** und **HF**, **HG**, **IF**, **IG**, welche sich in den Punkten **K**, **K′**, **K″**, **K‴** schneiden, trägt hierauf die Hälfte der Höhe, welche der Pfeiler, Figur **35**, bis an die Anfänger haben soll, von **K** nach **L**, und theilt **EL** in zwölf Theile. Der erste Theilungspunkt **1** zeigt nun die Hälfte einer der Diagonalen des Pfeilers an, welcher bei regulär gestalteten Grundrissen, wie beim Quadrat, einem Rechteck, die anderen halben Diagonalen gleich sind. Auf dieselbe Weise muß jede Diagonale besonders gesucht werden, wenn die Figur irregulär ist.

Was die Zwischenpfeiler **H**, **F**, **I**, **G** betrifft, so verlängert man, nachdem die Diagonalen der halben Pfeiler gefunden sind, dieselben um das Doppelte ihres inneren Vorsprungs nach außen, dergestalt, daß ganze Pfeiler entstehen, deren Dicke die ein- und einhalbfache Breite beträgt. Dieses Verfahren giebt für die Eckpfeiler eine ein- und einhalbmal größere Grundfläche, wodurch sie in den Stand gesetzt werden, der größten Wirkung des auszuhaltenden Drucks zu widerstehen.

Wenn die Breite des zu überwölbenden Raums in drei Abtheilungen zerfällt, deren mittlere, wie in den meisten unserer Kirchen, höher und breiter werden soll, als die beiden andern, so lassen sich die Grundflächen der Pfeiler auf zweierlei Art bestimmen. Die eine, von den gothischen Baumeistern herrührende, besteht darin, den Grundflächen der inneren Pfeiler nur diejenige Ausdehnung zu geben, welche zur Aufnahme der zu tragenden Last nothwendig ist, und auf die äußeren Pfeiler die Wirkung des Drucks mittelst Strebebogen dadurch zu werfen, daß man diesen Stützpunkten eine Lage und Grundfläche giebt, vermöge welchen sie eines soliden Widerstandes fähig werden.

Die leichteste Methode, welche sich für diesen ersten Fall aus der Theorie ableiten läßt, ist folgende. Nachdem der Grundriß der zwei halben Gewölbefelder oder Abtheilungen, die gemeinschaftlich auf einem Pfeiler ruhen, Figur **36**, gemacht ist, nimmt man die halbe Summe der beiden halben Diagonalen **AD**, **AE**, vermehrt sie um die halbe isolirte Höhe des Stützpunktes, und beschreibt mit dem zwölften Theil

dieſer Summe als Halbmeſſer einen Kreis, ſo zeigt dieſer die Fläche der Baſis des geſuchten Pfeilers an. Soll dieſe Baſis nicht rund ſeyn, ſo wird die Form, welche man ihr geben will, um dieſen Kreis beſchrieben, um ſo eher die Feſtigkeit zu vermehren, als zu vermindern. In Betreff des äußeren Pfeilers **B** zeichnet man ein Rechteck, deſſen Breite der Seite des Quadrates in jenem Kreiſe gleich, und deſſen Länge doppelt ſo groß iſt.

Oberhalb des Daches der Abſeiten kommt ein Strebebogen, deſſen Widerlager auf dem unteren Widerlager ruht, jedoch um ein Sechstheil eingerückt iſt, und inwendig um eben ſo viel überſteht. Die Scheitellinie oder Tangente dieſes Strebebogens, der aus einem einzigen Kreisbogen beſtehen muß, wird durch die verlängerte Sehne des Bogens des oberen oder mittleren Gewölbetheils beſtimmt. Um ſeinen Mittelpunkt zu erhalten, zieht man die Sehne **GH**, Figur **37**, errichtet in ihrer Mitte eine Senkrechte auf ſie, ſo iſt deren Durchſchnitt **I** mit der Horizontalen **FG** der geſuchte Mittelpunkt.

Man kann dieſe hängenden Bogen mit andern damit rechtwinkelig zuſammenſtoßenden Bogen verbinden, welche oben eine, mit einer Bruſtmauer oder Lehne verſehene, Platform oder einen Gang tragen, auf dem man rings um das Gebäude gehen kann, und welche von außen einen Ueberſatz bildet, der die Strebebogen verbirgt.

Im zweiten Falle ſucht man eine ſolche Baſis für die Widerlager, daß ſie der Wirkung des großen Gewölbes des mittleren Schiffs widerſtehen können, wobei die Höhe der Widerlager von der Erhebung der Anfänger über den Gewölben der Seitenſchiffe, Figur **39**, gerechnet wird. Der Hälfte dieſer Höhe wird im Grundriß, Figur **38**, **BH** gleich gemacht, ſodann **IH** in zwölf gleiche Theile getheilt, einer derſelben von **I** nach **A**, und zwei von **A** nach **F** getragen. Das über der Diagonale **FI** conſtruirte Rechteck iſt nun die Grundfläche des inneren Pfeilers, welchem man die Vorſprünge rechts und links zur Aufnahme der Anläufe der Bogen zufügt, welche zur Communication mit den Seitenſchiffen dienen. Die Länge **FD** wird in ſechs gleiche Theile getheilt, wovon zwei als Vorſprung des Pilaſters oder der inneren Halbſäule, auf der ſich das Geſims profiliren ſoll, drei auf die Dicke der Mauer gerechnet werden, und ein Theil auf den Pilaſter auf der Seite der Nebenſchiffe kommt, deſſen Verlängerung einen Contrefort oberhalb der Abſeiten bildet.

Hinsichtlich des äußeren Pfeilers **B** trägt man, wie oben, die Hälfte der Höhe bis zu den Anfängern von **E** nach **G** und $^1/_{12}$ **BG** von **B** nach **L**, endlich $^2/_{12}$ von **B** nach **K**, so ist das Rechteck über der Diagonale **KL** die Basis des Widerlagers, der man, wie bei dem gegenüberstehenden Pfeiler, die Vorsprünge für die Anläufe der Bogen oder Fenster hinzufügt, wie dies Figur **38** zeigt.

Wenn sich zwischen den Widerlagern Mauern befinden, die jene, wie **ihef**, Figur **33**, nach innen so hervorstehen lassen, daß der Vorsprung **ef** der halben Façe **he** gleich ist, so muß die Dicke der Mauer gleich **he** seyn; ist aber diese Mauer in die Richtung der Pfeilerfaçen vorgerückt, so ist es hinreichend, wenn sie zwei Drittel jener Dicke hat, dergestalt, daß die Pfeiler äußerlich Contreforts bilden. Da man übrigens die Wirkung des Drucks kennt, so kann man für die Böschungs- und Strebemauern verfahren, wie es oben Seite **196** bis **210** für die Terrassenmauern angezeigt wurde.

Von den antiken Kreuzgewölben.

Die noch vorhandenen Reste von großen Gebäuden der alten Römer zeigen, daß dabei die Vorsicht beobachtet wurde, die Anläufe der Kreuzgewölbe durch Säulen zu unterstützen, welche vor den Mauern angebracht wurden, um so deren Widerstandsfähigkeit gerade an den Stellen zu vermehren, wo die größten Wirkungen stattfinden. Diese Säulen hatten außerdem den Vortheil, die Spannung der Gewölbe zu vermindern, und eine Art edler und nützlicher Decoration hervorzubringen. Man kann diese schöne Anordnung in den großen Sälen der Bäder, z. B. der Bäder Diocletians zu Rom, gegenwärtig Kirche der Karthäuser, den Bädern des Caracalla und dem Friedenstempel, so wie in mehreren Theilen von Gebäuden nach diesen Vorbildern beurtheilen.

Gewölbe des Friedenstempels.

Untersucht man die schöne Anordnung des unter dem Namen des Friedenstempels bekannten, in Figur **2**, Tafel **CLXXXVI** vorgestellten, Gebäudes, so kann man nicht umhin, die vortheilhafte Art zu bewundern, auf welche die Stützpunkte vertheilt sind, um dem Drucke der außerordentlichen Gewölbe zu widerstehen, welche dies große Gebäude bedecken. Das Gewölbe des mittleren, **25** Meter, **22** Centimeter (**77** Fuß, **8** Zoll) breiten, **74** Meter, **92** Centimeter (**239** Fuß, **7** Zoll,

9 Linien) langen Theils bestand aus drei Abtheilungen von Kreuzgewölben, deren Anläufe von 8 großen, 1 Meter, 847 Millimeter (5 Fuß, 8 Zoll, 4 Linien) dicken Marmorsäulen unterstützt wurden. Diese Säulen standen so vor den Mauern, daß sie den inneren Durchmesser des Gewölbes um 3 Meter, 42 Centimeter (10 Fuß, 6 Zoll, 4 Linien) verminderten.

Die Seitentheile besteben auf jeder Seite aus drei tonnenförmig gewölbten Vertiefungen von 23 Meter, 12 Centimeter (71 Fuß, 2 Zoll) Breite und 16 Meter, 59 Centimeter (51 Fuß, 10 Zoll) Tiefe. Diese Gewölbe sind durch Mauern von 3 Meter, 356 Millimeter (10 Fuß, 4 Zoll) Dicke von einander getrennt; die äußersten mit A und B bezeichneten Mauern haben 4 Meter, 575 Millimeter (14 Fuß, 1 Zoll) Dicke.

In der Absicht, die Resultate der oben entwickelten Theorie mit denen durch die Erfahrung an großen Gebäuden gelieferten zu vergleichen, habe ich die Seite 266 gefundene Formel

$$x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd - 2mc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b}{a}$$

auf die Gewölbe dieses Tempels angewendet. Sie gab mir für die Dicke der Mauern, die im Stande wären, dem Drucke zu widerstehen, 3 Meter, 25 Centimeter (10 Fuß) statt der 3 Meter, 356 Millimeter, welche die Trennungsmauern, und 3 Meter, 575 Millimeter, welche die äußersten Mauern wirklich haben. Man sieht demnach, daß diese Mauern nur die Dicke haben, welche ihnen bei einem Gebäude der Art zukommt, abgesehen von den Wirkungen des großen mittleren Gewölbes, denen sie noch zu widerstehen hatten. Da indessen diese letzten Wirkungen sich in der Richtung der Länge der Mauern äußerten, so erlangten diese durch das Gewicht der von ihnen unterstützten Theile des großen Gewölbes eine weit größere Widerstandsfähigkeit, als die Wirkung des Drucks verlangte; denn man findet durch die Formel für Kreuzgewölbe nur 6 Meter, 18 Centimeter Länge für die Zwischenmauern C und D auf die Dicke, welche sie haben, während sie wirklich 16 Meter, 59 Centimeter lang sind; für die äußern Mauern ergiebt sich eine Länge von 8 Meter, 59 Centimeter, also weniger, als die Hälfte ihrer wirklichen Länge. Es muß noch bemerkt werden, daß sich an diesen Gewölben weder Zugbänder noch Klammern finden, wie wir sie anbringen, sondern daß sie sich blos durch den Widerstand

der Widerlager unterstützen. Es ist wahr, daß diese Gewölbe, da sie in Bruch- und Ziegelsteinen mit vortrefflichem Mörtel gemauert sind, mit der Zeit eben so viel Festigkeit erlangt haben, als wenn sie aus einem Stücke bestünden; allein es war eine gewisse Anzahl von Jahren nöthig, damit sie diesen Grad von Festigkeit erlangten, und die Mauern mußten solid genug seyn, um den ersten Wirkungen des Drucks widerstehen zu können [1]).

Bemerkungen über die gothischen Kreuzgewölbe.

Die günstigste Krümmung für Kreuzgewölbe ist die der gothischen Bogen, weil der am meisten drückende Theil wegfällt. Man findet, daß die Wirkung ihres Drucks nur drei Siebentel derjenigen ausmacht, welche Gewölbe im vollen Bogen, bei einerlei Durchmesser, Dicke, Höhe der Widerlager und Gestalt des Rückens äußern, und daß es

---

1) Wir haben bereits in der Einleitung dieses Werks (Seite 11) bemerkt, daß bei der Wegnahme der Säulen, welche den großen Saal des Friedenstempels schmückten, die Masse der nach der Zerstörung der Gewölbe übrig gebliebenen Strebebogen hängen blieb, ohne sich von den Mauern abzulösen. Diese Thatsache, welche der Kraft des Mörtels, über den die Römer so große Erfahrungen gesammelt hatten, zugeschrieben werden muß, schwächt nicht im Mindesten die Wichtigkeit der theoretischen Principien, wie sich dies aus dem Vorhergehenden beurtheilen läßt; allein sie scheint einen neuen Beweis von dem großen Scharfsinne liefern zu müssen, der in allen Werken der Römer glänzt. Es scheint auch wirklich heutzutage durch den gegenwärtigen Zustand der Sache bewiesen zu seyn, daß jene scheinbar so wesentlichen Theile, die selbst bisweilen aus dem härtesten Material [1]), ohne Zweifel im Verhältniß der Last, die sie zu tragen schienen, bestanden, daß mit einem Worte, diese demonstrativen Dispositionen eines sinnreichen Mechanismus in der Construction keinen andern Zweck haben konnten, als einen noch bewunderungswürdigeren Kunstgriff zu verbergen. Wie es sich auch verhalten mag, so bleibt es immer augenscheinlich, daß die Säulen, weit entfernt, das Vorbild zu seyn, welchem sich die ganze Construction subordinirt, wie dies bei dem größten Theile der neueren Gebäude der Fall ist, auf irgend eine Art nur als ein durch die Baukunst den griechischen Ordnungen gemachtes Zugeständniß erschienen, deren noch neue Einführung damals so viel Einfluß auf die Architektur hatte.

---

1) In den Bädern Diocletians, heutzutage die Karthäuserkirche, ruhten die Anläufe der Gewölbe auf acht Granitsäulen.

hinreichend ist, ihren Unterstützungspunkten drei Viertel der Dicke derjenigen zu geben, welche die Unterstützungspunkte im vollen Zirkel gekrümmter Gewölbe von gleicher Gestalt und Dimension haben.

In dem größten Theile der gothischen Kirchen, so wie der neueren mit Bogen und Kreuzgewölben, beträgt die Dicke der Pfeiler zwischen ein Drittel und ein Viertel der Breite der Abseiten, und die der äußeren Mauern zwischen ein Drittel und ein Viertel der Breite des mittleren Schiffs, welche gewöhnlich das Doppelte der Abseiten ist.

In der Kirche Notre-Dame zu Paris haben die runden Pfeiler, welche die Mitte der Gewölbe der doppelten Abseiten tragen, den neunten Theil der Breite zum Durchmesser, welche sie zwischen den kahlen oder glatten Säulen in zwei Theile theilen. Diejenigen, welche das mittlere Schiff abscheiden, haben nur den zehnten Theil seiner Breite; aber die Mauern der Kapellen, welche ihrer Länge nach der Wirkung der Gewölbe entgegenstehen, ergänzen das, was die runden Säulen oder Pfeiler weniger haben, als die anderer Gebäude der Art.

In der Kathedrale zu Mailand, worin die doppelten Abseiten bedeutend hoch sind, beträgt der Durchmesser der, gleichsam aus acht Säulen zusammengesetzten Pfeiler den dritten Theil ihres Abstandes von einander, von Mitte zu Mitte gerechnet, und den sechsten Theil der Breite des großen Schiffs. Dagegen haben die Umfangsmauern, einschließlich der Halbpfeiler und Contreforts, nur den dritten Theil der Breite des mittleren Schiffs, während in der Kirche Notre-Dame zu Paris die Mauern der Kapellen eine Dicke von mehr als der halben Breite des großen Schiffs entgegenstellen.

In der Kathedrale Sancta Maria de Fiori zu Florenz stehen die Pfeiler, welche das große Schiff von den Abseiten trennen, außerordentlich weit von einander, und die äußeren Mauern sind sehr dünn. Ihre, nur den siebenten Theil der Breite des Schiffs betragende, Dicke würde ungenügend seyn, den Druck der sehr hohen Kreuzgewölbe zu tragen, wenn dieser Druck nicht durch doppelte eiserne Zugbänder beseitigt wäre, welche gerade an den Pfeilern quer durch das mittlere Schiff gehen, so wie auch durch eine starke Verankerung von Zimmerwerk auf den, mit steinernen, von außen nicht sichtbaren Strebebogen versehenen Gewölben der Seitenschiffe.

Wir haben schon erwähnt, daß die gothischen Kreuzgewölbe nicht, wie reguläre Gewölbe, das Resultat sich durchkreuzender Theile von Tonnengewölben sind, sondern daß sie eine Zusammensetzung mehrerer

Bogen ausmachen, deren Zwischenräume durch leichtes Mauerwerk so ausgefüllt sind, daß die Bogen dadurch gehalten werden und ein regelmäßiges Ganzes entsteht. Da die Mitte der Kappen niemals eine gerade horizontale Linie, sondern eine Curve bildet, so folgt daraus, daß die ganze Wirkung nicht allein auf die Widerlager fällt, sondern zum Theil auf die Zwischenmauern, woher es denn rührt, daß diese Gewölbe, hinsichtlich der Leichtigkeit und Solidität, den Vorzug vor den regulären haben.

Die Menge von Strebebogen, die sich an den meisten gothischen Kirchen außerhalb befinden, ist oft überflüssig, wie dies, abstrahirt von der Theorie, schon mehrere Gebäude der Art beweisen, an denen dergleichen weggelassen sind, obgleich ihre Gewölbe eine viel größere Höhe haben, als die meisten großen Schiffe der gewöhnlichen Kirchen oberhalb der Abseiten, wie die Sainte-Chapelle zu Paris und die kleine Kirche Cluni bei der Sorbonne, die wir schon angeführt haben, und mehrere andere, welche nicht weniger solid sind.

In dem größten Theile unserer neueren Kirchen, wo die Kappen einen viel kleineren Durchmesser, als das große Gewölbe haben, um zu vermeiden, ihnen überhöhte Bogen geben zu müssen, hat man sich mehrerer Auskunftsmittel bedient; Einige, die Höhe der Anfänger beibehaltend, haben Lünetten oder Kappen gebaut, welche auf das große Gewölbe unterhalb seines Scheitels stoßen; Andere haben die Anfänger der Lünetten so hoch erhoben, bis sich ihr Scheitel in gleicher Höhe mit dem des großen Gewölbes befand, indem sie den untern Theil vertikal bis zur Höhe der Anfänger der Lünetten abschnitten; noch Andere haben den Mittelweg eingeschlagen, und einerseits die Anfänger der Lünetten über die des großen Gewölbes erhoben, und anderseits ihren Scheitel unter den des großen Gewölbes vertieft; noch Andere haben endlich dem Scheitel der Lünetten eine solche Neigung gegeben, daß er Tangente an der Curve der inneren Wölbung des großen Gewölbes ist.

Das erste dieser Auskunftsmittel hat den Nachtheil, daß es, wegen des Gewichts der Theile, die es veranlaßt, einen größeren Druck hervorbringt. Das zweite hat den Fehler, die Kraft des großen Gewölbes in dem vertikal abgeschnittenen Theile zu schwächen, und eine Rippe hervorzubringen, die in der Höhe der Anfänger der Lünetten eine unangenehme Krümmung bildet. Das dritte Mittel verhüllt oder

bemäntelt blos die Mängel der beiden ersten, indem es sie weniger bemerkbar macht. Die vierte Art, von der man viele Beispiele in Italien sieht, hat den Vorzug, besonders wenn der Unterschied der Durchmesser der Lünetten und des großen Gewölbes nicht zu beträchtlich ist. Diese Neigung der entgegengesetzten Lünetten kommt zum Theil mit der Krümmung der gothischen Kappen überein; allein sie wirft einen viel größeren Theil des Drucks auf die Zwischenmauern.

Aus Allem, was so eben gesagt wurde, läßt sich leicht schließen, daß Kreuzgewölbe am besten aus Theilen von gleich weit gespannten Tonnengewölben gebildet werden, deren Anfänger gleich hoch liegen, wie dies schon von den alten Römern in ihren schönsten Gebäuden geschehen ist.

Diese Gewölbedisposition ist vollkommen den Gebäuden angemessen, die von oben erhellt werden müssen, besonders dann, wenn ihre Länge im Verhältniß zu ihrer Breite sehr groß ist; durch die Art, wie sich das Licht verbreitet, bringt sie einen angenehmen und minder schwerfälligen Effect hervor, als ununterbrochen fortlaufende Tonnengewölbe. Die Bibliothek der Minerva zu Rom ist ein Muster, das man in dieser Art anführen kann.

Ich glaube, daß diese Einrichtung sich am besten für eine Gemäldegallerie, wie die des Museums, eignet. Ich habe sie unter andern auch im Jahre **1786** dem Grafen von Angivillers, General-Director der königlichen Gebäude, vorgeschlagen. Man hätte die Anläufe dieser Gewölbe durch Marmorsäulen, wie im Friedenstempel und in den großen Sälen der Thermen, unterstützen können. Durch diese Art von Decoration würden die vorhandenen kostbaren Marmorsäulen nützlich verwendet worden seyn. Da es nur möglich gewesen wäre, Lichter auf gewissen Entfernungen anzubringen, so hätte die Länge der Gallerie in Gewölbetheile getheilt werden müssen, welche abwechselnd Tonnengewölbe hinter den Frontons, und Kreuzgewölbe in den Zwischenräumen derselben hätten seyn und durch Pfeilerbogen getrennt werden müssen. Durch diese Eintheilung würde die Einförmigkeit dieses langen Gewölbes verschwunden seyn, welches nach Verschließung der Fenster nur den Anblick einer unterirdischen Wasserleitung darbietet, durch mehrere, die Solidität des Gewölbes zerstörende Löcher erhellt, die ohne Zweifel den schlechtesten Effect hervorbringen.

Einundzwanzigste Anwendung — auf das Modell eines Klostergewölbes.

Dies, in Figur **40**, Tafel **CLXXXV** vorgestellte Modell bildet im Grundriß ein Quadrat von **9** Zoll im Inneren gemessen; die Mauern haben bis an das Gewölbe **10** Zoll Höhe. Es ist im vollen Bogen gewölbt, hat überall **9** Linien Dicke, und ist in siebenzehn, an den Stellen des größten Drucks geschnittene, Theile getheilt, wie es die Figuren **40** und **41** zeigen. Auf einer der Seiten von Figur **40** hat man, wie gewöhnlich den mittleren Kreisbogen **TKG**, die Tangenten **FT**, **FG**, die Secante **FO**, die Horizontale **IKL** und die Vertikalen **Bi** und **MK** gezogen. Hierauf wurde das Gewölbe als aus vier dreieckigen Theilen eines Tonnengewölbes zusammengesetzt betrachtet, deren jeder mit seiner ganzen Basis auf den Mauern ruhe, welche das Quadrat bilden.

Da in gegenwärtigem Falle die oben erwähnten vier Theile einander gleich sind, so ist es hinreichend, die fragliche Anwendung in Bezug auf die Unterstützungsmauer nur auf einen dieser Theile auszuführen. Dabei müssen, wie in den letzten Fällen, die Inhalte statt der Flächen, und die Flächen statt der Linien in Betracht gezogen werden.

Es sey nun die Länge der Mauer $= f$, ihre Höhe $= a$ und ihre Dicke $= x$. Da ihr Hebelsarm immer $\frac{x}{2}$ ist, so wird ihr Widerstand durch $afx \cdot \frac{x}{2}$ ausgedrückt.

Bezeichnen wir nun die Wirkung des Drucks durch . . . p,
$EH = IT = KL = KV$ durch . . . . . d,
so wird PH seyn . . . . . $a + d$.
Die Summe der Vertikalwirkungen des oberen Theils sey . m,
die der Wirkungen des unteren Theils . . . . . n,
der Theil IK der Horizontalen . . . . . c,
$TB =$ der halben Dicke des Bogens . . . . . e,
so ist der Hebelsarm KH . . . . . $c + x$,
und $TE =$ . . . . . $x - e$.

Wir haben nun für den Zustand des Gleichgewichts folgende Gleichung

$$pa + pd = \frac{afx^2}{2} + (m + n)\,x - ne + mc,$$

und, wenn man $m + n = b$ ſetzt,

$$\frac{afx^2}{2} + bx = pa + pd + ne - mc,$$

woraus

$$x = \sqrt{\left(\frac{2p}{f} + \frac{2pd + 2ne - 2mc}{af} + \frac{b^2}{a^2f^2}\right)} - \frac{b}{af}$$

folgt.

Nehmen wir jetzt an, wie es bei den Formeln bisher der Fall war, daß die Wirkung im Punkt B ſtatt habe, ſo iſt $e = o$, und es wird

$$x = \sqrt{\left(\frac{2p}{f} + \frac{2pd - 2mc}{af} + \frac{b^2}{a^2f^2}\right)} - \frac{b}{af}.$$

Die im Profil durch die Linie KL bezeichnete horizontale Wirkung des oberen Theils wird durch das Dreieck eEd des Grundriſſes ausgedrückt.

Die im Durchſchnitt mit iK bezeichnete Wirkung des unteren Theils wird durch das Trapez eBCd des Grundriſſes vorgeſtellt.

Da der Grundriß dieſes Gewölbes ein Quadrat iſt, ſo iſt $ed = 2Eg = 2KL$ im Durchſchnitt, und die Fläche des Dreiecks $eEd = KL \cdot KL$; ſie wird $= 41\,^5/_{14} \cdot 41\,^5/_{14} = 1710\,^2/_7$ gefunden

Es iſt Ea des Grundriſſes $= 54$ und $Eg = 41\,^5/_{14}$, mithin der Inhalt des Trapezes $= (54 \cdot 54) - (41\,^5/_{14} \cdot 41\,^5/_{14}) = 1206\,^2/_7$. Da die Wirkung des oberen Theils $1710\,^2/_7$ iſt, ſo beträgt die Differenz 504, welche mit der Dicke des Gewölbes, alſo mit 9, multiplicirt 4536 für den Ausdruck des in der Formel mit p bezeichneten Drucks giebt. Es iſt daher $2p = 9072$ und $\frac{2p}{f} = 84$.

Da d, welches TI vorſtellt, $41\,^5/_{14}$ iſt, ſo wird $2pd = 375192$.

Um den Werth der mit m bezeichneten Vertikalwirkung des oberen Theils zu erhalten, multiplicirt man ſeinen Inhalt mit KM und dividirt das Produkt durch den Bogen KG. Dieſer Inhalt iſt dem Produkte aus der, durch die Mitte der Dicke gehenden, krummen Fläche in dieſe Dicke gleich. Dieſe mittlere krumme Fläche wird aber erhalten, indem man die Länge nq, im Grundriß gemeſſen, mit KM multiplicirt, wie dies Maudit in ſeinen Elementen der Geometrie gezeigt hat. Nun iſt nq gleich 117 und $KM = 17\,^1/_7$, ihr Produkt oder die nittlere Fläche alſo $2005\,^5/_7$, daher der Inhalt $2005\,^5/_7 \cdot 9 = 18051\,^3/_4$.

Diesen Inhalt mit **KM = 17 1/7** multiplicirt und durch den Bogen **KG = 46** dividirt, giebt **6727** für den Werth von **m**. Es ist daher **2m = 13454**, und da **c = 12 9/14** ist, so hat man **2mc = 170100 5/7**, und sodann

$$\frac{2pd - 2mc}{af} = \frac{375192 - 170100\,5/7}{120 \cdot 108} = 15{,}82.$$

b, welches die Vertikalwirkung des Halbgewölbes bezeichnet, wird ausgedrückt durch dessen Inhalt, multiplicirt mit **Bf = 58 1/2**, und dividirt durch den mittleren Bogen **TKG = 92**. Um den Inhalt zu bekommen, multiplicirt man die mittlere Fläche, nämlich **nq · Bf = 117 · 58 1/2 = 6844 1/2**, mit der Dicke **AB = 9**, welches **6844 1/2 · 9 = 61600 1/2** giebt. Hieraus folgt, nach dem eben Gesagten, der Werth für **b** $= \frac{61600\,1/2 \cdot Bf}{TKG} = \frac{61600\,1/2 \cdot 58\,1/2}{92}$

$= 39169{,}88$; daher ist $\frac{b}{af} = \frac{39169{,}88}{120 \cdot 108} = 3{,}02$ und $\frac{b^2}{a^2 f^2} = 9{,}12$.

Substituirt man nun diese Werthe in die Formel (Seite 318)

$$x = \sqrt{\left(\frac{2p}{f} + \frac{2pd - 2mc}{af} + \frac{b^2}{a^2 f^2}\right)} - \frac{b}{af},$$

so hat man

$$x = \sqrt{(84 + 15{,}82 + 9{,}12)} - 3{,}02,$$

woraus **x = 7,41**, d. h. ein wenig kleiner als **7 1/2** Linien, für die Dicke der Mauer folgt, welche Dicke demnach kleiner, als die des Gewölbes ist. Dies zeigt, daß diese Mauern ganz die nöthige Stärke erhalten, wenn man sie so dick, als das Gewölbe macht; und dies beweist auch der Versuch; denn das Modell unterstützt sich gleich gut auf **9** Linien dicken, in **8** Theile getheilten Mauern, und auf zwölf dorischen Säulen von **9** Linien Dicke, von denen vier in den Winkeln und acht unter den unteren Gewölbetheilen stehen, wie dies Figur **41** Tafel **CLXXXXV** für ein Viertel zeigt.

Um die Dicke dieser Mauern durch die geometrische Methode zu finden, zieht man den Inhalt des Dreiecks **Eed** $= \frac{82\,5/7 \cdot 41\,5/14}{2}$

$= 1710{,}4$ von dem des Dreiecks **BEC** $= \frac{108 \cdot 54}{2} = 2916$ ab und dividirt die Differenz **1205,6** durch **108**, wodurch **11,16** erhalten wird. Diese Länge wird, wie gewöhnlich, im Profil Figur **40** von **B** nach **h**,

und die Dicke des Gewölbes von **B** nach **n** getragen, über **nh** ein Halbkreis beschrieben, welcher dann von der Horizontalen die gesuchte Dicke **BE** zu **10** Linien abschneidet.

Der geringe Druck dieser Art von Gewölben rührt daher, daß das Volumen des oberen, ihn verursachenden Theils in dem Maße abnimmt, als die horizontale Wirkung größer wird, so wie auch, daß die dreieckige Form der Gewölbetheile und deren Lage dem Gewölbe den Vortheil verschaffen, daß diese Theile ihre größte Seite zur Basis haben, während bei Kreuzgewölben durch die, nur auf einer Spitze ruhenden, dreieckigen Theile das Gewicht in größerem Verhältniß zunimmt, als die horizontalen Wirkungen.

Da ferner die in den Winkeln zusammenstoßenden Theile sich gegenseitig unterstützen, so folgt daraus, daß ein Halbgewölbe, und selbst der vierte Theil, auf viereckiger Basis sich selbst trägt, wenn die Mauern **10** Linien Dicke haben. Dies beweist, daß der Druck beinahe Null wird, weil die einander entgegengesetzten Theile beinahe gar nicht gegen einander wirken.

Wendet man auf dieses Gewölbe die Methode mittelst der Schwerpunkte an, so wird die Formel (Seite **318**) zu

$$x = \sqrt{\left(\frac{2p}{f} - \frac{2bc}{af} + \frac{b^2}{a^2f^2}\right)} - \frac{b}{af}.$$

Man findet den Abstand der, durch den Schwerpunkt des oberen Theils gehenden Vertikalen von dem Unterstützungspunkt **N**, um welchen sich dieser Theil zu drehen strebt, $= 11{,}18$, und den Abstand **Ng** dieses Punktes von der Richtung **Gg** der horizontalen Kraft $= 24{,}82$.

Da der Inhalt dieses Gewölbetheils **18051,41** ist, so wird der Ausdruck seiner Wirkung $= 18051{,}41 \cdot \frac{11{,}18}{24{,}82} = 8131{,}13$ für den Werth **p**, daher $\frac{2p}{f} = \frac{16262{,}26}{108} = 150{,}57$.

Da $b = 61600{,}5$, und **c**, welches den Abstand der durch den Schwerpunkt des Gewölbes gehenden Vertikalen von dem Punkt **B** bezeichnet, um welchen es sich zu drehen strebt, $= 7{,}23$ ist, so hat man $\frac{2bc}{af} = \frac{123201 \cdot 7{,}23}{120 \cdot 108} = 68{,}73$, und $\frac{b}{af} = \frac{61600{,}5}{120 \cdot 108}$ $= 4{,}75$, endlich $\frac{b^2}{a^2f^2} = 22{,}56$.

Diese Werthe in obige Formel gesetzt, geben

$$x = \sqrt{(150{,}57 - 68{,}73 + 22{,}56)} - 4{,}75,$$

und hieraus $x = 5{,}47$, oder etwa $5\,^1/_2$ Linien, also geringer, als durch die andere Methode, weil die dreieckige Form hier, streng genommen, einige kleine Modificationen verlangt, die wir aus dem schon angeführten Grunde vernachläßigt haben, daß es nämlich besser ist, ein etwas zu starkes Resultat zu finden, als eines, das ein wenig zu schwach wäre.

Es ist nicht überflüssig, zu bemerken, daß, da bei dieser Art von Gewölben der größte Druck in ah der Mitte der Mauer statt hat, die Mauer an dieser Stelle eigentlich dicker seyn sollte, woraus folgen würde, daß die Mauer statt eines Rechtecks, ein Dreieck zur Grundfläche haben müßte. Diese Bemerkung wird durch einen Versuch bestätigt, denn das ganze Modell unterstützt sich zwar wohl bei 9 Linien dicken Widerlagern, aber bei einem Viertel desselben muß die zugehörige Mauer 10 Linien dick seyn, wenn es stehen bleiben soll.

Um die Dicke eines Widerlagers mit dreieckiger Grundfläche gerade an der Spitze zu finden, muß der algebraische Ausdruck des Widerlagers in der Formel verändert werden. Bezeichnen wir daher ah, Figur 41, mit x, so wird die Grundfläche des Widerlagers $= f \cdot \frac{x}{2}$, und der kubische Inhalt $= \frac{afx}{2}$; da nun die Lage seines Schwerpunkts einem Drittheil von ah entspricht, so ist der Widerstand $\frac{afx}{2} \cdot \frac{2x}{3} = \frac{afx^2}{3}$.

Man hat daher statt der Gleichung, Seite 318, wenn, wie dort, $e = o$ ist, folgende:

$$pa + pd = \frac{afx^2}{3} + bx + mc,$$

aus welcher

$$x = \sqrt{\left(\frac{3p}{f} + \frac{3pd - 3mc}{af} + \frac{9b^2}{4a^2f^2}\right)} - \frac{3b}{2af},$$

und durch Substituirung der Werthe

$$x = \sqrt{(126\,^1/_6 + 23\,^1/_2 + 28\,^4/_9)} - 5\,^1/_3$$

folgt, woraus $x = 8$ Linien für **ah** wird. Da aber die dreieckige Gestalt der Widerlager einem Gewölbe nicht angemessen seyn kann, dessen Dicke unten durch Parallellinien begrenzt ist, so ist es am passendsten, den Widerlagern die nämliche Dicke zu geben, welche das Gewölbe unten hat.

Es ist leicht begreiflich, daß die Vorzüge der Klostergewölbe sich in dem Verhältniß vermindern, als die Gewölbe länger als breit werden, dergestalt, daß die Mitte der großen Seite eines Gewölbes der Art, dessen Länge der doppelten Breite gleich ist, wie ein gewöhnliches Tonnengewölbe wirken muß. Sind die Gewölbetheile nach den Diagonalen des Grundrisses, wie Figur **1**, Tafel **XLIV**, getrennt, so giebt man den Mauern zwei Drittheile der Dicke, welche die eines Tonnengewölbes von gleicher innerer Krümmung und die Breite zum Durchmesser habend, erhalten müßte. Sind sie aber durch Linien getrennt, welche die Winkel des Grundrisses in zwei gleiche Theile theilen, wie Figur **7** und **12** derselben Tafel, so muß man den Mauern, statt jener zwei Drittheile, die ganze Dicke geben.

Da bei dieser Art von Gewölben der größte Druck gegen die Mitte der Seiten stattfindet, so muß man, so viel als möglich, vermeiden, daselbst Oeffnungen für Thüren oder Fenster anzubringen.

Die Gestalt der Klostergewölbe paßt sehr gut für gewölbte Zimmer, die wenig Bogenhöhe erhalten sollen, und deren Grundriß nicht mehr als die doppelte Breite zur Länge hat.

Ist die einem solchen Gewölbe zu gebende Bogenhöhe kleiner, als der sechste Theil der Breite, so muß es nach einem einzigen Kreisbogen geformt werden.

Zweiundzwanzigste Anwendung — auf das Modell eines sphärischen Gewölbes.

Dieses, durch die Figuren **42**, **43**, **44** und **45**, Tafel **CLXXXXV** vorgestellte, Modell hat mit dem vorigen einerlei Durchmesser und Dicke; es ist durch vier sich in der Achse kreuzende Vertikalebenen in acht Theile zerlegt, und jeder dieser Theile noch einmal durch eine unter **45** Grad geneigte Fuge in zwei Theile getheilt, so daß also in Allem sechszehn Stücke vorhanden sind. Dies Gewölbe ruht auf einer kreisförmigen Mauer, welche dieselbe Dicke als das Gewölbe hat, und durch jene vier Vertikalebenen ebenfalls in acht Theile getheilt ist. Damit alle diese Theile den ungünstigsten Fall darstellen, sind sie

ohne irgend ein Bindemittel so zusammen gesetzt, daß ununterbrochene Vertikalfugen entstehen. Demungeachtet steht das Modell fest und kann selbst auf seinem Scheitel ein Gewicht tragen.

Vertauscht man die acht kreisbogenförmigen Mauertheile mit acht eben so hohen, kleinen Säulen, wie dies Figur **44** zeigt, so jedoch, daß die Vertikalfugen auf die Mitte der Säulen kommen, so unterstützt sich das Gewölbe dennoch, obgleich der Inhalt und das Gewicht der Säulen nur den neunten Theil der durch sie ersetzten Mauer betragen.

Es ergiebt sich aus diesen Versuchen, daß sphärische Gewölbe noch weniger Druck haben, als Klostergewölbe.

Behufs der Anwendung muß man, nachdem das Profil gezeichnet und der mittlere Bogen beschrieben ist, wie gewöhnlich, die Tangenten **TF**, **GF**, die Sekante **FO**, die Horizontale **IKL**, und die Vertikalen **KM** und **Bi** ziehen, sodann nimmt man, nur ein Achttheil des Gewölbes betrachtend, den Abschnitt **Ohm** um die durch **KL** angezeigte horizontale Wirkung, und den Ringausschnitt **HhMm** um die Horizontalwirkung des unteren Theils auszudrücken. Der Unterschied der beiden Flächen, mit der Dicke des Gewölbes multiplicirt, giebt den in der Formel mit **p** bezeichneten Werth des Drucks.

Es ist nun der Halbmesser **Om** des Ausschnitts $= 41^5/_{14}$, sein Bogen $= 32^1/_2$, und sein Inhalt $= 672^3/_{56}$. Die Fläche des Ringausschnitts **hHMm** ist der Unterschied zwischen den beiden Ausschnitten **OHM** und **Ohm**; der erste ist dem Produkte aus dem halben Halbmesser **OM** in dem Bogen **HM** $= 42^3/_7$ gleich, also, da jene Hälfte **27** ist, $= 27 \cdot 42^3/_7 = 1145^4/_7$. Da nun der kleine Ausschnitt $= 672^3/_{56}$ beträgt, so ist die Differenz $= 473^{29}/_{56}$.

Der Druck, welcher dem Produkte aus der Differenz $672^3/_{56} - 473^{29}/_{56} = 198^{15}/_{28}$ in die Gewölbedicke **9** gleich ist, ergiebt sich daher zu $198^{15}/_{28} \cdot 9 = 1786^{23}/_{28} = p$.

f drückt für dieses Modell die Entwickelung des achten Theils der Kreismauer aus und ist $42^1/_2$, daher $\frac{p}{f} = 42$.

d, welches die Differenz der Länge des Hebelarms und der Höhe des Widerlagers bezeichnet, ist $41^5/_{14}$, daher $pd = 73897^1/_7$.

Zur Bestimmung des Werthes von **mc** muß man zuerst den Werth von **m** suchen, welcher die Vertikalwirkung des oberen Gewölbetheils bezeichnet und gleich ist: dem Inhalt dieses Theils multiplicirt mit **KM** und dividirt durch den Bogen **KG**.

Der Inhalt dieses Gewölbetheils ist gleich dem Unterschiede zwischen dem Inhalt des Kugelausschnitts, wozu er gehört, und dem Ausschnitt, der seiner inneren Fläche entspricht.

Wir haben schon Seite **19** bemerkt, daß der Inhalt eines Kugelausschnitts gefunden wird, wenn man den zugehörigen Theil der Kugelfläche mit dem dritten Theile des Halbmessers der Kugel multiplicirt, und daß jener Theil der Kugelfläche ein Produkt aus dem größten Kreise der Kugel in die Höhe des jenem Theil entsprechenden Kugelabschnitts ist. So ist also die krumme Fläche des Ausschnitts **ORCr**, Figur **42**, gleich dem Produkt aus dem größten Kreise vom Durchmesser **Aa = 126** in die Höhe **CS** $= 18^{5}/_{11}$, welches **7308** giebt; der Inhalt des Ausschnitts ist demnach $7308 \cdot {}^{63}/_{3} = 153468$.

Der kleine Ausschnitt **ONDn** hat das Produkt aus dem Kreise vom Durchmesser **Bb = 108** in die Höhe **DV** $= 15^{9}/_{11}$, nämlich $5369^{27}/_{77}$ zur krummen Fläche und $5369^{27}/_{77} \cdot {}^{54}/_{3} = 56648^{24}/_{77}$ zum Inhalt. Die Differenz $153468 - 96648^{24}/_{77} = 56819$ dieser Inhalte ist nun der Inhalt des oberen Theils des ganzen Gewölbes, und giebt, durch **8** dividirt, den gesuchten Inhalt $7102^{3}/_{8}$ eines der acht Theile, in welche das Gewölbe zerlegt ist. Multipliciren wir diesen Inhalt mit **KM** $= 17^{1}/_{2}$, und dividiren das Produkt durch den Bogen **KG = 46**, so ist das Resultat $2646^{2}/_{3}$ der Werth von **m** in der Formel.

Da nun **c**, welches **iK** vorstellt, $12^{9}/_{14}$ ist, so hat man **mc** $= 33461^{3}/_{7}$, mithin **pd** $- 33461^{3}/_{7} = 40436^{1}/_{7}$

und $\frac{pd - mc}{af} = \frac{40436^{1}/_{7}}{120 \cdot 42^{1}/_{2}} = 7{,}92$.

In der vorigen Anwendung auf das Modell eines Klostergewölbes waren die Mauern gerad, der Abstand ihres Schwerpunktes vom Unterstützungspunkte war daher der halben Dicke der Mauern gleich; hier dagegen sind die Mauern kreisförmig, ihr Schwerpunkt ist deßhalb desto weiter vom Unterstützungspunkt entfernt, je größer der zugehörige Kreisbogen in Bezug auf den ganzen Kreis ist. Nimmt man nun den achten Theil, so liegt der Schwerpunkt um eine gewisse Größe, die wir **e** nennen, außerhalb der Mauer, so daß also der Hebelsarm, statt $\frac{x}{2}$ zu seyn, nun $e + x$ wird. Hierdurch verändert sich obige Formel (Seite **321**) in folgende:

$$afx\,(e + x) + bx = pa + pd - mc,$$

aus welcher

$$x^2 + (e + \frac{b}{af})\,x = \frac{pa + pd - mc}{af}$$

und, wenn man $e + \frac{b}{af} = 2h$ setzt,

$$x = \sqrt{\left(\frac{p}{f} + \frac{pd - mc}{af} + h^2\right)} - h$$

folgt.

b drückt die Vertikalwirkung eines Achttheils des Gewölbes aus, und ist dem Inhalte dieses Theils, multiplicirt mit der Vertikalen Bf und dividirt durch den mittleren Bogen TKG, gleich. Dieser Inhalt ist aber der achte Theil einer Halbkugel vom Durchmesser Aa, weniger dem achten Theil einer Halbkugel vom Durchmesser Bb. Aus dem Durchmesser $Aa = 126$ ergiebt sich leicht jenes Achttheil zu $65688^1/_2$, und aus dem Durchmesser $Bb = 108$ letzteres Achttheil zu $41240^4/_7$, mithin die Differenz zu $24447^{13}/_{14}$ für den achten Theil des Gewölbes; dieser Inhalt mit $Bf = 58^1/_2$ multiplicirt, und das Produkt $1430203^{23}/_{28}$ durch den mittleren Bogen $TKG = 91^6/_7$ dividirt, giebt 15558 für den in der Formel mit b bezeichneten Ausdruck der vertikalen Wirkung eines Achttheils des Gewölbes; $\frac{b}{af}$ ist daher $\frac{15558}{5100} = 3{,}05$.

Da $e = 2{,}51$ ist, so hat man $h = 2{,}78$ und $h^2 = 7{,}72$.

Durch Substituirung dieser Werthe in die letzte Formel erhält man

$$x = \sqrt{(42 + 7{,}92 + 7{,}72)} - 2{,}78$$

und hieraus $x = 4{,}81$ statt 7,41, welches Resultat für das Klostergewölbe gefunden wurde, dessen Basis das umschriebene Quadrat seyn würde. Dieser Unterschied hat seinen Grund darin, daß die geraden Mauern, deren jede einem Viertheil des Gewölbes entspricht, nur die Hälfte ihrer Dicke zum Hebelsarm haben, während bei sphärischen Gewölben der correspondirende Mauertheil einen mehr als dreimal so großen Hebelsarm hat.

Anwendung mittelst der Methode der Schwerpunkte.

Hierbei machen wir von einem einfachen Verfahren zur Bestimmung der Schwerpunkte sphärischer Gewölbe Gebrauch, das ich aus den theoretischen Principien hergeleitet habe, die in einem mathema-

tischen Werke des Abbé Deidier, betitelt: **Mesures des surfaces et des solides par l'arithmetique des infinis et les centres de gravité**[1]) aufgestellt sind.

Man stellt sich das Gewölbe als auf seinen mittleren Bogen reducirt vor. Um nun den Schwerpunkt des oberen durch **KG**, Figur **44**, bezeichneten Theils zu finden, zieht man durch die Mitte **2** von **GL** eine Horizontale, welche den Bogen **KG** im Punkt **3** schneidet, trägt dann den Abstand **2,3** auf den Grundriß und beschreibt den Bogen **5,6**. Der Schwerpunkt dieses Bogens ergiebt sich, wenn man die Sehne mit dem Radius multiplicirt und das Produkt durch die Länge des Bogens dividirt (wie wir dies Seite **127** gezeigt haben); der Quotient **29,68** zeigt nun den Abstand des Schwerpunktes von der Achse an; man trägt ihn im Profil von **2** nach **4**. Da nun **Nn = 38,18** ist, so wird die Differenz **N4 = 8,50** und bezeichnet den Hebelsarm des durch seinen Inhalt ausgedrückten Gewichts des oberen Gewölbetheils.

Ng ist, wie in der vorhergehenden Anwendung, **= 24,82** und drückt den Hebelsarm der Horizontalkraft aus, welche den oberen Gewölbetheil auf seiner Fuge **HN** erhält. Da nun der Inhalt dieses Theils $7102^3/_8$ ist, so wird die Wirkung jener Kraft durch $\frac{7102^3/_8 \cdot 8{,}50}{24{,}82}$ $= 2432{,}32$, als dem Werth von p, ausgedrückt; $\frac{p}{f}$ ist daher $\frac{2432{,}32}{42{,}5} = 57{,}23$.

b, welches das Gewicht der zwei vereinigten Gewölbetheile ausdrückt, ist **24447,93**.

c zeigt in gegenwärtigem Falle den Abstand der durch den Schwerpunkt beider beider vereinigter Theile gehenden Vertikalen vom Punkt **B** an. Zur Bestimmung dieses Schwerpunktes wird eine Horizontale durch die Mitte **7** von **GO** gezogen, mit der Entfernung **7,8** ihres Durchschnitts **8** mit dem mittleren Bogen vom Punkt **7** im Grundriß ein Bogen **9,10** beschrieben und dessen Schwerpunkt gesucht. Man findet seine Entfernung von der Achse **= 49,36** und vom Punkt **B = 4,64**; dies ist der Werth von **c**. Man hat daher $\frac{bc}{af} = \frac{24447{,}93 \cdot 4{,}64}{120 \cdot 42{,}5} = 22.24$.

1) Volume in 4. avec des planches. Paris 1740, chez C. A. Jombert.

$2h$, welches, wie in der vorhergehenden Anwendung, $e + \frac{b}{af}$ vorstellt, wird $2{,}51 + \frac{24447{,}93}{5100} = 7{,}30$, so daß also $h = \frac{7{,}30}{2} = 3{,}65$ und $h^2 = 13{,}32$ ist.

Alle diese Werthe in die Formel

$$x = \sqrt{\left(\frac{p}{f} - \frac{bc}{af} + h^2\right)} - h$$

gesetzt, geben

$$x = \sqrt{(57{,}23 - 22{,}24 + 13{,}32)} - 7{,}3,$$

woraus $x = 3{,}30$ statt $4{,}4$ wird, welche Zahl durch die andere Methode gefunden wurde. Diese Verschiedenheit rührt daher, daß nach der ersten Methode die Vertikalwirkungen ein wenig schwach sind; übrigens ist dieser Unterschied zum Vortheil der Widerlager.

Es folgt aus den Anwendungen auf die vier zuletzt betrachteten, am häufigsten vorkommenden, Modelle:

1) Daß bei Tonnengewölben im vollen Bogen, deren Länge dem Durchmesser gleich ist, die Grundfläche der zwei parallelen Unterstützungsmauern 4698 ist.

2) Daß die Basis der vier im Durchschnitt quadratförmigen Pfeiler, welche das Kreuzgewölbe tragen, 7056 beträgt.

3) Daß die Grundfläche der vier Mauern des Klostergewölbes sich zu $3425\,^2/_3$ ergiebt.

4) Daß die Grundfläche der Kreismauer des sphärischen Gewölbes $1238\,^1/_6$ ist.

Ohne Rücksicht auf den Durchmesser zu nehmen, der bei allen Modellen derselbe ist, ergiebt sich, wenn die Grundfläche der kreisförmigen Mauer des sphärischen Gewölbes $= 1$ gesetzt wird, die der Mauern des Klostergewölbes zu 3, die der Mauern des Tonnengewölbes zu weniger als 4 und die des Kreuzgewölbes zu weniger als 6.

Nimmt man aber Rücksicht auf den Flächenraum, den jedes dieser Gewölbe sammt Mauern und Stützpunkten einnimmt, so zeigt sich, daß bei gleichen Flächen die Mauern des Tonnengewölbes davon einnehmen zwei Siebentel, die des Klostergewölbes weniger als ein Viertel, die Pfeiler des Kreuzgewölbes, wenn man annimmt, sie seyen durch die Zwischenräume fortgesetzt, ein wenig mehr als ein Siebentel, und die runde Mauer des sphärischen Gewölbes ein wenig mehr als

zwei Siebenzehntel. Setzt man den von jedem Gewölbe eingenommenen Raum = **400**, so kommen hiernach davon:

auf die Mauern des Tonnengewölbes **115**;
auf die Mauern des Klostergewölbes **81**;
auf die Pfeiler des Kreuzgewölbes **60**;
auf die Ringmauer des sphärischen Gewölbes . . **48**.

Hieraus folgt, daß nach den sphärischen Gewölben die Kreuzgewölbe die wenigsten Stützpunkte erfordern, ein Schluß, den man, nach dem was oben von ihrem Drucke gesagt wurde, nicht hätte erwarten sollen, der aber durch den Versuch bestätigt wird.

Es kann vielleicht auffallen, daß die Formeln die Dicke der Mauern für Klostergewölbe und sphärische Gewölbe geringer als die Dicke der Gewölbe selbst geben. Obgleich nun dies Resultat durch die Versuche bewahrheitet wird, wollen wir doch nicht behaupten, daß daraus zu schließen sey, die Mauerdicke müsse geringer, als die Gewölbedicke gemacht werden; die Mauern brauchen aber nicht in ihrer ganzen Länge voll zu seyn.

Nach den oben, Seite **253** u. f. Nr. **5**, **6**, **7**, **8** und **9**, aufgestellten Grundsätzen, und namentlich diesem letzten, worin gezeigt wird, daß der Druck dem Unterschiede der Horizontalwirkungen derjenigen Gewölbetheile gleich ist, die in entgegengesetzter Richtung wirken, so daß, wenn diese Wirkungen gleich sind, es keine Differenz und also auch keinen Druck giebt, beschränken wir uns, zu beweisen, daß dies bei Kloster- und sphärischen Gewölben der Fall ist.

Beweis für das Klostergewölbe.

Stellen wir uns das Gewölbe auf seine mittlere Fläche reducirt vor, so wird der den Druck verursachende Theil im Profil Fig. **40** u. **41**, Tafel **CLXXXXV**, durch **KL** und im Grundriß durch das Dreieck **Eed** bezeichnet, welches dem Quadrat **kegE** gleich ist; der ihm widerstehende Theil ist im Profil durch **IK**, und im Grundriß durch das Trapez **enqd** ausgedrückt, das der Winkelfläche **lnmgek** gleich ist. Nun ist die Seite des großen Quadrats **lnmE** der Diagonallinie des kleinen **kegE** gleich, daher die Fläche des letzteren die Hälfte des großen, mithin ist der rechtwinkelig umgebogene Theil des letzteren, welcher die Wirkung des unteren Gewölbetheils ausdrückt, dem Quadrate gleich, durch welches der

Druck des oberen Theils vorgestellt wird; dies Gewölbe kann daher keinen Druck haben. Derjenige Druck, welchen wir in der Anwendung der zwei Methoden gefunden haben, rührt daher, daß wir in dem Ausdrucke des unteren Theils, das kleine Trapez **BnqC**, das die Hälfte seiner Dicke bildet, vernachlässigt haben; weil dieser untere Theil, wenn man ihn als aus einem einzigen Stück bestehend betrachtet, sich um die Linie **BC** zu drehen strebt, welches nicht der Fall seyn würde, wenn er aus einer Menge von Gewölbsteinen bestünde, welche wirken könnten.

Beweis für das sphärische Gewölbe.

Derselbe Beweis läßt sich auf sphärische Gewölbe anwenden; denn indem man, Figur **43**, die Linien **Mn**, **dn** zieht, ist leicht ersichtlich, daß wenn man mit dem Halbmesser **Oh**, welcher der halben Diagonale **nO** gleich ist, einen Kreis beschreibt, dessen Fläche die Hälfte des mit **OM** beschriebenen Kreises ist. Daher ist der Ring, welcher den unteren Gewölbetheil vorstellt, dem Kreise gleich, der den oberen Theil ausdrückt, und das Gewölbe hat mithin, gleich dem Klostergewölbe, keinen Druck.

Diese Eigenschaft sphärischer Gewölbe kann noch auf eine andere Art bewiesen werden, indem man nämlich zeigt, daß das Produkt des oberen Gewölbetheils in die Linie **KL** dem des unteren Theils in die Linie **IK** gleich ist. Stellt man sich zu dem Ende das Gewölbe auf seinen mittleren Kreis reducirt vor, so ist die Wirkung des oberen Theils dem Produkte aus dem Kreisumfange, der ihm zur Basis dient, und den wir **C** nennen wollen, in die Höhe **LG** und den Hebelsarm **KL**; die Wirkung des unteren Theils ist **C · TI · IK**. Da nun **LG = IK** und **TI = KL** ist, so hat man

$$C \cdot LG \cdot KL = C \cdot TI \cdot IK.$$

Wir haben geglaubt, daß es von Interesse seyn könnte, die Arbeit kennen zu lernen, welche der Verfasser im Jahr **1796** über diesen Gegenstand an den Gewölben und Strebebogen des Doms der Genovevenkirche, damals das französische Pantheon, vornahm, und die er in den früheren Ausgaben als hierher gehöriges Beispiel blos anzeigte.

Anwendung, welche der Verfasser im Jahr 1796 auf die Gewölbe und Strebebogen des Doms der Genovevenkirche, dem damaligen Pantheon, gemacht hat [1]).

Die drei Gewölbe, welche den Dom des französischen Pantheons schließen, haben zusammen unten eine Dicke von nur 4 Fuß 6 Zoll. Obgleich die Kreismauer, welche sie auf verschiedenen Höhen unterstützt, nur 3 Fuß 3 Zoll hat, und überdies mit zwölf großen Fensteröffnungen von 8 Fuß 4 Zoll Breite durchbrochen ist, ferner trotz des stattgehabten Setzens und der Schadhaftigkeit, welche sich an den Pfeilern zeigten, gewahrt man doch keine Seitenwirkung, welche die Theile dieser Mauer zu trennen strebt.

Was die Lage eines Kuppelthurms betrifft, der auf Bogen und Strebebogen errichtet ist, die vorwärts ihrer Unterstützungspunkte gehalten werden, so besteht die daraus folgende Hauptwirkung in einem nach dem Inneren gerichteten starken Bestreben, das von dem größeren Theil des durch die Strebebogen unterstützten Doms herrührt, und zum Theil auf die Bogen und inneren Pfeilerflächen übertragen wird.

Die Strebebogen können als Theile eines sphärischen Gewölbes betrachtet werden, das auf den inneren Flächen der Pfeiler anfängt. Da der Durchmesser dieses Gewölbes größer ist, als der des Kuppelthurms, so ist es durch die Flächen der vier großen, die Oeffnungen der Schiffe bildenden, Arkaden vertikal abgeschnitten, und horizontal durch die inneren Theile des runden Domthurms, so daß von den bleibenden Theilen, d. h. von den Strebebogen, jeder von drei Seiten zurückgehalten wird, nämlich rechts und links durch die Arkaden, und oben durch die Steinschichte, welche den das Ganze vereinigenden Kreis

---

1) Auszug aus der historischen, in vier Theilen bestehenden Denkschrift über den Dom der Genovevenkirche. Der erste Theil enthält die Beschreibung des Monuments; der zweite die historischen und ausführlichen Details seiner Construction; im dritten ist untersucht, ob die Mauern und Stützpunkte des Doms die nöthigen Dimensionen haben, um den Wirkungen widerstehen zu können, die sie auszuhalten haben; der vierte Theil enthält die genauen Details aller Unfälle, welche sich an den Pfeilern des Doms gezeigt haben, die Ursachen derselben und die verschiedenen Mittel, welche zur Herstellung der Pfeiler vorgeschlagen wurden. Von J. Rondelet, Architekt, Excommissär der öffentlichen Arbeiten und Mitglied des Raths über Civilgebäude.— Paris, Dupont, Buchdrucker, Jahr V (1797).

bildet. Hieraus folgt, daß die Strebebogen der Last nicht nachgeben können, die sie tragen, ohne gegen die Seiten der Arkaden zu wirken, auf welche sie sich stützen. Allein die Steinschichte, welche den die Strebebogen vereinigenden Kreis bildet, setzt sich dagegen, und das dadurch erzeugte Hinderniß ist um so größer, als diese Wirkung nicht statthaben kann, ohne daß ein Zermalmen, nicht allein der die Schichte bildenden Steine vorhergehet, sondern auch noch in allen Theilen des Thurms, die nicht durch Oeffnungen unterbrochen sind.

Der auf den Arkaden ruhende Theil des Thurms würde wohl im Stande seyn, eine Druckwirkung gegen ihre Stützpunkte zu verursachen; allein diese Wirkung wird im Gleichgewicht gehalten oder selbst aufgehoben, durch die der Strebebogen, welche die Gewölbewinkel dieser Arkaden mit stärkerer Kraft drücken. Man hat diese Wirkung dadurch möglichst zu erhöhen gesucht, daß man die Gewölbesteine welche die Schichten der Strebebogen des Doms schließen, so anordnete, daß sie sich mit denen der Arkaden verbinden.

Um den Werth dieser Wirkungen des Thurms kennen zu lernen, hat man ein Viertel desselben mit dem zugehörigen Pfeiler näher untersucht, und, indem man dasselbe als isolirt voraussetzte, erkannt, daß es sich nicht für sich unterstützen könnte, bestünde es auch aus einem einzigen Stück, weil die Vertikale durch den Schwerpunkt seiner Masse außerhalb der inneren Pfeilerfläche auf **5** Fuß, **6** Zoll, **5** Linien vorwärts der Pilaster fällt, so daß noch eine gewisse Kraft nöthig wäre, um die Last auf den Pfeiler zurück zu bringen. Nun ist es aber klar, daß die ganze Wirkung, welche aus dieser Zurückwerfung folgen würde, auf die innere Fläche der Pfeiler und auf die Wandsäulen fallen müßte, welche die großen, die Oeffnungen der Schiffe bildenden, Arkaden tragen. Wenn man parallel mit dieser Fläche eine Linie **CH**, Tafel **CLXXXXVI** zieht, welche durch die Mittelpunkte der Säulen geht, so zeigt sie die Achse oder die Mitte des stärksten Drucks an; dies findet sich durch die Erfahrung bestätigt, weil die Pilaster und Säulen daselbst am meisten gelitten haben.

Das Gewicht dieses Viertheils des Doms bis unter die Architrave der Pfeiler ist **7,449980**, und sein Schwerpunkt liegt **6** Fuß, **4** Zoll, **8** Linien von der Achse **CH** entfernt. Hieraus folgt, daß die Kraft, womit es umzufallen strebt, **45,597075** beträgt; sie vertheilt sich auf eine Fläche von ungefähr **80** Fuß, mithin kommt auf jeden **569,963**.

Wendet man das mittlere Gewicht, welches ein Stein aus dem Grund von Bagneux von einem Fuß Fläche tragen würde, auf die **80** Fuß Fläche eines jeden Dompfeilers an, welche, wie so eben bemerkt wurde, den Druck einer zu **45,597075** geschätzten Last zu tragen haben, so sieht man, daß dieses Gewicht $^5/_6$ desjenigen beträgt, welches im Stande wäre, jene Fläche zu zerdrücken; da aber die Steine, wegen nicht scharfer Kanten und mangelhafter Stellen, nicht durchaus gleich gut tragen, so kann man sagen, daß der fragliche Theil des Doms zur Unterstützung der auf ihm ruhenden Last nicht hinreichend wäre, wenn er nicht durch den Ueberschuß des Pfeilers verstärkt würde, dem er zugehört.

Um den Werth des Widerstandes zu erfahren, den der untere Theil des Thurms erwähnter Wirkung entgegensetzt, dividirt man die Zahl **45,597,075** durch **25** Fuß, welches die mittlere Höhe des Hebelarms ist, an dessem Ende jener Widerstand wirkt, wodurch sie sich auf **1,823,883** reducirt, und da sie sich auf eine Fläche von mehr als **600** Fuß vertheilt, so kann man, ohne etwas zu wagen, sagen, daß der Widerstand hundertmal die Wirkung übertrifft.

Was die Kraft betrifft, welche nothwendig ist, um das Einstürzen des Viertheils des Doms nach dem Inneren zu verhindern, so findet man sie durch Multiplication seines Totalgewichts, welches **8,247304** ist, mit der Entfernung der Richtung des Schwerpunktes dieser Masse von der Linie, welche durch die Unterstützungspunkte geht, um welche es sich drehen würde. Da diese Punkte die ausspringenden Winkel der Pfeilergrundflächen sind, so findet sich jene Entfernung zu **3** Fuß, und daher die Kraft zu **24,741912**. Da die Horizontalkraft, welche jener Kraft entgegenwirkt, in der **98** Fuß, **6** Zoll betragenden Höhe des Schwerpunktes über den Unterstützungspunkten liegt, so reducirt sich jene auf **251,187**.

Um endlich zu zeigen, daß diese horizontale Wirkung nicht groß genug ist, um die Pfeiler mit der darauf ruhenden Last umzuwerfen, ist es hinreichend, zu bemerken, daß dazu eine Wirkung von **8,247304** mal $18^1/_4$ und dividirt durch $98^1/_2 = 1{,}528053$ erforderlich wäre, d. h. eine sechsmal größere, als die der Kraft, welche das Gewicht des Doms unterstützt.

Es bleibt uns noch übrig, die Wirkung des Drucks kennen zu lernen, der durch das auf jeder Arkade liegende Gewicht verursacht wird, und welches **1,789626** beträgt. Zu dem Ende zieht man zuerst

auf dem durch die Mitte der Bogen geführten Durchschnitt, Figur 1, Tafel CLXXXXVII, die Linien bf, fc und die Secante fo; es ergiebt sich alsdann der Halbmesser des mittleren Umfangs bkg zu 21 Fuß, kl = 14 6/7 Fuß, ik = 6 1/7 Fuß, der Bogen kg = 16 1/2 Fuß und der Hebelsarm des Drucks = 67 1/2 Fuß.

Wegen Isolirung der zwischen zwei Fensteröffnungen befindlichen Thurmtheile, welche jenes Gewicht auf die Arkaden übertragen, nimmt man es ganz für dasjenige, welches den Druck auf die Arkaden verursacht, obgleich letzteres geringer ist; dies giebt für die Wirkung des Drucks, wenn man nur eine halbe Arkade betrachtet, $\frac{894{,}813 \cdot 14\,6/7}{46\,1/2} \cdot 67\,1/2 = 54{,}386032$ und **108,772064** für die zwei halben Arkaden rechts und links des Pfeilers. Erwägt man alsdann, daß diese Wirkungen sich zum Theil aufheben, weil ihre Richtungen rechtwinkelig zu einander sind, und daß ihre Mittelkraft der Diagonale eines Quadrates gleich ist, dessen Seiten jene Wirkungen sind, d. h., daß das Resultat sich zu **108,772064** verhalten muß, wie die Seite des Quadrats zur Diagonale, also wie **7 : 10**, so wird **76,140445** erhalten.

Diese Kraft muß noch um diejenige vermehrt werden, welche nothwendig ist, um den vierten Theil des Doms im Gleichgewicht zu erhalten und welche wir zu **24,741912** gefunden haben, so daß also die Totalsumme der Wirkungen, welche das Widerlager umzuwerfen streben, **100,882357** beträgt. Da nun dessen Widerstandsfähigkeit **8,247304 · 18 1/4 = 150,513298** ist, so sieht man, daß die Summe aller Wirkungen, welche eine Trennung der Widerlager von dem Dome herbeizuführen streben, nur zwei Drittel des Widerstands betragen, der ihnen und ihrer Last entgegenwirkt; auch bemerkt man wirklich in dem Gebäude keinen Effect, der auf eine nach außen wirkende Kraft hindeutete. Es ist noch zu bemerken, daß in allen diesen Rechnungen die Strebepfeiler, welche den Widerstand noch um vieles vermehren, nicht aufgenommen sind.

Aeußerer Säulengang des Doms [1]).

Die äußere Kolonnade und die darin befindlichen Gewölbe mit den großen Bogen und Strebebogen, welche sie tragen, machen

1) Siehe die nachträglichen Bemerkungen zu den Tafeln.

zusammen ein Gewicht von **16,226224**; es kommt daher auf jeden der vier einspringenden Winkel der äußeren Mauer, auf welche sich dieses Gewicht wirft, eine Last von **4,056556**. Um den Druck eines jeden Theils dieser großen Bogen und der Strebebogen zu erhalten, welche dies Gewicht auf die äußeren Mauern fortpflanzen, muß man es mit der halben Sehne multipliciren, und das Produkt durch den halben Umfang dividiren, wodurch man $\frac{4,056556 \cdot 47\,^{17}/_{24}}{61} = 3,172648$ für die Summe der Wirkungen erhält, welche sich unter einem rechten Winkel vereinigen. Zusammengesetzt wirken sie in der Richtung der Diagonale mit einer Kraft, welche man erhält, wenn man jene Summe mit **7** multiplicirt und durch **10** dividirt, wodurch diese Kraft $= 2,220853$ gefunden wird. Diese Kraft oder dieser Druck wirkt am Ende eines **52** Fuß langen Hebels, und bringt daher eine Wirkung von **115,485356** hervor; allein, da der Widerstand des äußerlich abgestumpften Winkels sammt dem der Mauern, welche daselbst anstoßen, **289,075800** beträgt, so ist er ein wenig größer als das Doppelte; indessen sind die abgestutzten Ecken ein wenig gegen den Anfang der großen Bogen hingebogen. Man muß aber bemerken, daß man in dem Calcul voraussetzt, alle widerstehenden Theile bildeten nur ein einziges Stück, während sie doch wirklich aus einer Menge von Stücken zusammengesetzt sind.

Bemerkung.

Die Solidität eines kreisrunden, auf Bogen und Strebebogen ruhenden Doms besteht hauptsächlich darin, daß alle seine Theile nach dem Mittelpunkt hinstreben, d. h. nach der Achse des Thurms; da nun die äußeren Vorgebäude diesen Effect vermindern können, so muß man nur mit großer Umsicht davon Gebrauch machen.

Der gelehrte Baumeister der St. Paulskirche in London hat die Nothwendigkeit, die Wirkungen dieses Doms auf die Achse zu dirigiren, so wohl gefühlt, daß er seinen Thurm im Inneren konisch statt cylindrisch gemacht hat, und daß er, um diese Wirkung noch mehr zu vermehren, der Mauer dieses Thurms unten weniger Dicke gegeben hat als oben, woraus ein Ueberhängen von **5** Fuß folgt, ein Beispiel, daß sich in keinem andern Gebäude findet.

Da die zusammengesetzten Gewölbe, sie mögen regulär oder irregulär seyn, nur eine Zusammensetzung von Theilen einfacher Gewölbe sind, so wird man leicht im Stande seyn, die Wirkungen aller Arten von Gewölben zu bestimmen, vorausgesetzt, daß man alles, was über diesen Gegenstand gesagt wurde, gut begriffen, und daß man die Operationen während des Lesens repetirt habe. Dies ist der Grund, weßhalb wir nicht in das Detail von Operationen eingingen, welche durch Versuche gerechtfertigt sind, die Jedermann wiederholen kann.

Die gelehrteren und allgemeineren Auflösungen der Mathematiker vom ersten Range sind beinahe niemals zu Rathe gezogen worden, weil die Auflösung ihrer Formeln und deren Anwendungen bei der Substitution von Zahlenwerthen statt der Buchstaben, wie es doch bei der Ausführung einzelner Fälle immer geschehen muß, außerordentlich schwierig wird; dies ist die Antwort, welche ich von mehreren in der transcendentalen Mathematik bewanderter Männer, unter andern von dem berühmten Lagrange erhielt, denen ich diese Formeln angab.

Drittes Kapitel.

Von der Kraft, mit welcher Steine oder Backsteine durch Mörtel oder Gyps verbunden werden.

Es ist klar, daß diese Kraft bei gleichem Volumen der Steine im Verhältniß der Fugenflächen stehen muß. So kann ein Gewölbstein von einem Kubikfuß Inhalt mit vier andern Gewölbsteinen durch vier Fugen, jede zu einem Quadratfuß Fläche, verbunden seyn. Nimmt man aber statt dieses Gewölbsteins drei Bruchsteine, so erhält man statt jener **4** Fuß Fugenfläche **8** Fuß. Werden endlich statt der Bruchsteine Backsteine angewendet, so sind zu demselben Volumen deren **27** nöthig und diese geben **13** Fuß Entwickelung für die Flächen, welche zusammenstoßen. Bezeichnen wir demnach die Kraft, welche den Haustein verbindet, mit **4**, so ist die, welche die Bruchsteine vereinigt, **8** und die der Backsteine **13**. Hieraus folgt, daß Gewölbe von Bruchsteinen nur halb so viel, und Gewölbe von Backsteinen mehr als dreimal weniger drücken müssen, als Gewölbe von Hausteinen.

Wir haben im **1**. Band, Seite **368**, **369**, Versuche über die Kraft angeführt, mit welcher Mörtel und Gyps verschiedene Arten von Bruch- und Backsteinen bindet. Es folgt aus diesen Versuchen, daß der Mörtel nach sechs Monaten Backsteine mit einer Kraft vereinigt, die hinreichend ist, die Wirkungen des Drucks eines um ein Drittel gedrückten Gewölbes von **15** Fuß Durchmesser und **4** Zoll überall gleicher Dicke, ganz aufzuheben; so wie dies auch von Gyps in Bezug auf ein Gewölbe von gleicher Krümmung und Dicke, aber **18** Fuß Spannung der Fall sey. Diese Kraft ist größer bei Gewölben, die am Schlußstein dünner sind, als unten, und nimmt im Verhältniß

der Dicke in der Gegend der Mitte der Gewölbewinkel, wo ein Bruch entstehen würde, dergestalt zu, daß bei beliebiger Spannung und Wölbung des Gewölbes, der Mörtel bei gut gemachten Gewölben nach sechs Monaten Kraft genug hat, den Druck zu vernichten, wenn nur die Dicke des Gewölbes, in der Mitte der Gewölbewinkel gemessen, mehr als der zehnte Theil von **KL**, Figur **25**, Tafel **CLXXXXIV**, und bei Gyps den zwölften Theil beträgt. Indessen ist es doch gut, die schon gemachte Bemerkung zu wiederholen, daß Werke in Gyps ihre Solidität nur behalten, wenn sie gegen Luftveränderungen und Feuchtigkeit geschützt sind, daß aber im entgegengesetzten Falle zuweilen **7** bis **8** Jahre hinreichen, um sie zu zerstören, während die Dauer der Werke in Mörtel keine Grenzen hat.

Die geringe Menge von Mörtel oder Gyps, welche man bei Gewölben in Hausteinen anwendet, deren Fugen oft nur damit ausgegossen werden, ist Ursache, daß man nicht sehr auf ihre Kraft hinsichtlich der Verbindung der Gewölbsteine rechnen kann; allein es giebt andere Mittel, die sich mit vielem Erfolge anwenden lassen. Dahin gehören die Döbel und Klammern, von denen die alten Römer bei Bauwerken dieser Art beständig Gebrauch gemacht haben. Diese Mittel sind den Ketten und Zugbändern der Neueren vorzuziehen.

Versuche, auf welche sich die Berechnung der Kraft des Mörtels und Gypses bei Gewölben gründet.

Erster Versuch.

Ein Parallelepipedum von Gyps, **15** Zoll lang, **16** Linien breit und $9^1/_2$ Linien dick, mit der schmalen Seite auf zwei Stützen von **12** Zoll Entfernung gelegt, trug auf seiner Mitte ein Gewicht von **17** Pfund **10** Unzen **5** Quentchen, ehe es brach, Fig. **H**, Taf. **LXVII**.

Dasselbe Stück trug, an beiden Enden gezogen, vor seinem Bruche **80** Pfund und **6** Unzen. Wenn man die Kraft kennt, welche am einen Ende eines festen Körpers von einfacher Textur, wie Stein, Gyps, Mörtel, angebracht werden muß, während das andere Ende festgehalten wird, um denselben zu zerreißen, so ergiebt sich diejenige, welche nothwendig ist, um denselben auf zwei Stützen liegenden Körper zu zerbrechen, wenn man jene Kraft mit der vertikalen Dicke des Körpers multiplicirt und das Produkt durch die Entfernung dieser Kraft oder des Gewichts von den Unterstützungspunkten dividirt. Im vorliegenden

Beispiel ist die Kraft, welche, in der Richtung der Länge angebracht, den Körper trennt, **80** Pfund **6** Unzen oder **80 3/8** Pfund, die Höhe oder vertikale Dimension des Körpers **16** Linien und der Abstand der Kraft von den Unterstützungspunkten **72**, daher das zur Bewirkung des Bruchs erforderliche Gewicht $= \frac{80\,^3/_8 \cdot 16}{72} = 17\,^5/_6$ Pfund, statt **17** Pfund **10** Unzen **5** Quentchen oder **17 2/3** Pfund, welches Resultat nur um ein Sechstheil Pfund, d. i. um weniger als **3** Unzen abweicht.

Zweiter Versuch.

Ein, drei Tage vorher eingerührtes, Stück Gyps von **11 1/2** Linien Breite, **7** Linien Dicke mit dem einen Ende so in einer Mauer befestigt, wie es Figur **G** zeigt und ruhend auf der schmalsten Seite, brach bei **4** Pfund **2** Unzen, die am andern Ende angebracht waren; die Länge **AB** betrug **6** Zoll.

Dritter Versuch.

Ein anderes Stück von demselben Gyps, bei derselben Dicke **15** Zoll lang und mit der schmalsten Seite auf zwei, einen Fuß von einander entfernte Unterlagen gelegt, Figur **H**, zerbrach bei einem Gewicht von **4** Pfund **2** Unzen **7** Quentchen.

Vierter Versuch.

Ein drittes Stück Gyps von denselben Dimensionen, wie das vorhergehende, eben so gestellt, aber an die eben soweit von einander befindlichen Stützen befestigt, trug **12** Pfund **12** Unzen, ehe es brach.

Bemerkung.

Bei dem zweiten und dritten dieser Versuche gab es nur einen Bruch, und zwar an der Befestigung bei dem zweiten und in der Mitte bei dem dritten; beim vierten Versuche dagegen gab es drei Brüche, einen in der Mitte und einen an jeder Stütze.

Es folgt aus diesen und mehreren anderen Versuchen, die ich mit Gypsstücken von verschiedener Länge und Dicke wiederholt habe:

1) Daß sich aus der absoluten Festigkeit oder Stärke eines festen Körpers von einfacher Textur seine relative Stärke für jede Lage finden läßt.

2) Daß sich die Kräfte, welche zum Zerbrechen gleichartiger, hinsichtlich der Textur wie oben beschaffener Körper, von gleicher Gestalt

und Dimension, nöthig sind, verkehrt wie die Entfernung des Gewichts von den Unterstützungspunkten verhalten.

3) Daß, wenn diese Entfernung dieselbe bleibt, die Stärke gleich ist, es mag nun das Gewicht an einem Ende oder in der Mitte angebracht werden.

4) Daß diese Kraft der Anzahl der Brüche und ihren Flächen proportional ist.

Die über die Stärke der Hölzer angestellten Versuche beweisen, daß dieser letzte Effect nicht derselbe ist bei Körpern, deren Textur aus biegsamen Fasern besteht. Es bedarf nämlich ein an beiden Enden gehaltenes Holz zur Bewirkung des Bruchs nur die doppelte Kraft, während bei festen Körpern von einfacher Textur, wie Gyps, Mörtel und Steine, die dreifache nöthig ist.

Fünfter Versuch.

Zehn Würfel von Stein von gewöhnlicher Härte, **2** Zoll Seite habend, waren seit einem Monat durch Gyps verbunden und wurden so als Sturz auf zwei, **16** Zoll von einander entfernte Unterlagen gelegt, so daß die beiden Enden auflagen, ohne befestigt zu seyn; sie brachen bei einem Gewicht von **25**$^3/_4$ Pfund. Zwei andere, zu derselben Zeit eben so an einander befestigte, Würfel rissen, wenn an beiden Enden gezogen wurde, erst bei einem Gewicht von **121** Pfund aus einander.

Wendet man auf diesen Versuch die bei dem ersten angezeigte Rechnung an, so findet man $\frac{\textbf{121 Pfd.} \cdot \textbf{2}''}{8''} = \textbf{30 Pfd. 4 Unzen.}$

Da das die Trennung bewirkende Gewicht nur **25** Pfund **12** Unzen betrug, so hat man, wenn das Gewicht der **8** mittleren Würfel, deren jeder **12** Unzen wog, dazu genommen wird, zur eigentlichen, den Bruch herbeiführenden Kraft **31** Pfund **12** Unzen, statt der **30** Pfund **4** Unzen, welche die Regel giebt.

Ich bemerke, daß **25**$^3/_4$ Pfund das geringste der bei mehreren Versuchen gefundenen Gewichte ist; ich fand auch **26**, **27**$^1/_2$ bis **28** Pfund.

Dieselben Versuche, wobei jedoch die Würfel auf die Unterlagen befestigt waren, gaben **79**, **81** und **82**$^1/_2$ Pfund.

Sechster Versuch.

Dieser Versuch unterscheidet sich von den vorhergehenden Versuchen nur dadurch, daß die Würfel mit Mörtel an einander befestigt waren; der Versuch wurde einen Monat nach der Vereinigung vorgenommen. An beiden Enden ziehend bedurfte man **64** Pfund, um zwei Würfel zu trennen. Die Anwendung der Regel giebt daher $\frac{64 \cdot 2}{8} = 16$ Pfund für das Zerbrechen, wenn die Würfel als Sturz lose auf Unterlagen gelegt werden; der Versuch giebt dafür wenigstens **10 3/4**, höchstens **13 1/2** Pfund, und wenn man, wie oben, das Gewicht der Zwischenwürfel mit **6** Pfund dazunimmt, erhält man als geringste Kraft **16 3/4** und als größte **19 1/2** Pfund.

Siebenter Versuch.

Dieser Versuch wurde mit einem Modell vom Stein von Conflans angestellt; seine Wölbung war ein Halbkreis von **12** Zoll Durchmesser; es war überall **1** Zoll dick, und bestand aus vier Theilen mit einer Vertikalfuge am Scheitel und zwei andern, gegen die Mitte der Gewölbewinkel, unter **45°** geneigten Fugen.

Nachdem die Vertikalfuge mit Mörtel befestigt war, bedurfte man **16 3/4** Pfund, um sie zu trennen. Waren außerdem auch noch die beiden andern unter **45°** geneigten Fugen befestigt, so hatte man **52** Pfund, und wenn endlich auch die Horizontalfugen auf den Widerlagern befestigt wurden, **85** Pfund nöthig, um eine Trennung zu bewirken.

Andere Versuche, mit Modellen gedrückter und über den vollen Bogen erhöhter Gewölbe angestellt, haben mich gelehrt, daß die Kraft des Mörtels oder Gypses, welcher die Steine oder Backsteine bindet, aus denen die Modelle bestehen, den Größen proportionel zu seyn scheint, welche erhalten werden, wenn man die Fugenfläche an der Stelle, wo der Bruch eintritt, mit **LG**, Tafel **CLXXXXIII** und **CLXXXXIV**, multiplicirt und durch **KL** dividirt. Es ist wichtig, zu bemerken, daß diese Bindekraft mit der Gewölbedicke abnimmt, und daß sie bei horizontal abgeglichenen Gewölben am größten ist.

Anwendung.

Man will wissen, ob die Kraft des Gypses zur Verbindung der Backsteine eines Tonnengewölbes im vollen Zirkel, von überall **4** Zoll

Dicke und 28 Fuß Durchmesser hinreichend ist. Da die Länge keinen Einfluß hat, so wollen wir zur Erleichterung der Rechnung die Untersuchung nur auf ein Stück von einem Fuß Länge ausdehnen.

Da ein Stück dergleichen Mauerwerk von Backsteinen und Gyps bei 4 Zoll Dicke und einem Fuß Fläche ungefähr 42 Pfund wiegt, so wird jenes einen Fuß lange Stück des Gewölbes ein Gewicht von 1848 Pfund haben, und dies stellt das Gewicht vor, welches bei den vorhergehenden Versuchen in der Mitte angehängt wurde.

Da die zur Trennung der Horizontalfuge gerade am Anfang der Krümmung nöthige Kraft immer beträchtlicher ist, als der Widerstand der Mauern, so braucht man blos auf die drei oberen Fugen Rücksicht zu nehmen, die, wenn sie sich öffnen, den Ruin des Gewölbes verursachen können.

Die Fläche jeder dieser Fugen ist 48 Zoll, mithin aller drei 144 Zoll; wird diese Fläche mit der Zahl 50, welche für jeden Zoll die Kraft anzeigt, mit welcher der Gyps Backsteine bindet, multiplicirt, so erhält man die Totalkraft 7200. Diese Kraft ist noch mit dem Verhältniß LG : KL, das bei Gewölben im vollen Zirkel $^{29}/_{70}$ ist, zu multipliciren, wodurch 2983 für die Wirkung des Gewichts gefunden wird, welchem diese Kraft widerstehen könnte. Da nun das Gewicht des Gewölbes, nur 1848 ist, so folgt daraus, daß Gyps zur Verbindung der Theile des fraglichen Gewölbes in Backsteinen hinreichend ist, vorausgesetzt jedoch eine gute Anfertigung des Ganzen, so daß keine Wirkung gegen die Unterstützungsmauern stattfindet; dies findet sich durch Erfahrungen des Grafen d'Espie und andere im zweiten Band Seite 324—330 von uns angeführte bestätigt.

Da die Fugenflächen bei einem Gewölbe von derselben Länge, wie groß auch sein Durchmesser seyn mag, sich nicht ändern, so findet man, indem man 2983 durch die Zahl 42, welche das Gewicht eines Fußes Fläche eines Gewölbes in Backsteinen und Gyps anzeigt, dividirt, daß die Kraft des Gypses für ein 4 Zoll dickes Gewölbe nicht mehr genügt, sobald sein Bogen länger als 71 Fuß, oder bei einem Gewölbe im vollen Zirkel, sobald sein Durchmesser 45 Fuß beträgt.

Bei regulären Kreuzgewölben genügt es, einen Strebebogen zu betrachten, bei irregulären aber muß die Operation für jeden vorgenommen werden.

Was Klostergewölbe mit viereckiger Basis und sphärische Gewölbe betrifft, so ist die Kraft des Gypses stets mehr als hinreichend, um Back- oder Bruchsteine bei jedem Durchmesser des Gewölbes zu binden.

Schluß.

Ich habe schon bei mehreren Gelegenheiten, und namentlich in meinem Memoire über die Wiederherstellung der Kuppel der Pariser Getraidehalle gesagt, daß der Druck, womit man die Architekten zu schrecken sucht, beinahe immer von der Art abhängt, wie die Gewölbe gebaut sind. Er kann nur dann gefährlich seyn, wenn man die Vorsichtsmaßregeln vernachlässigt, welche wir für Pflicht erachtet haben, nach Theorie und Erfahrung anzugeben, sowohl hinsichtlich der Gestalt der Wölbung, der Dicke des Rückens, als auch in Bezug auf die Art der zu verwendenden Materialien, ihre Anordnung und Zurüstung, endlich zur Vermeidung der Wirkungen eines unregelmäßigen Setzens, dessen sie fähig sind, so wie auch der Wirkungen ihrer Mauern oder Stützpunkte, welche am meisten zu fürchten sind. Wir haben gezeigt, daß der geringste Bruch, oder die kleinste Trennung in einem zu dünnen Gewölbe von gleicher Dicke, den Ruin verursachen kann. Dieser Fehler ist in Gewölben mit sehr vielen Fugen, wie bei gestellten Backsteinen, noch gefährlicher, denn wenn sie mit Mörtel gemauert sind, so sind sie einem bedeutenden Setzen unterworfen, das niemals ganz gleichförmig stattfindet; sind sie in Gyps gemauert, so folgt daraus eine Ausbauchung, wodurch sie gegen die Flanken brechen, wenn sie sich nicht anlehnen, oder die Mauern umwerfen, wenn sie angelehnt sind und man keine Vorsichtsmaßregeln gegen diese Unfälle getroffen hat. Um diesem vorzubeugen, müßte man von Mörtel und Gyps in der Art Gebrauch machen, daß die vom Gyps herrührende Ausbauchung das durch den Mörtel verursachte Setzen compensirte. Demnach könnte man die unteren Theile und die Füllung der Gewölbewinkel mit Mörtel, die oberen Theile aber mit Gyps mauern.

Welcher Materialien man sich auch zu Gewölben bedienen mag, so muß doch jede Vorsicht gebraucht werden, damit keine Trennung entstehe, und daß, wenn in unvorhergesehenen Fällen dennoch eine Trennung erfolgen sollte, der Widerstand der unteren Theile die Wirkung der oberen Theile im Gleichgewicht erhalten könne. Die Brüche in Tonnengewölben sind die gefährlichsten, weil sie in geraden Linien durch das ganze Gewölbe parallel mit den Widerlagern entstehen.

Zur Vermeidung der Folgen dieser Wirkung geschieht es, daß man die Gewölbewinkel wenigstens bis zu der in Figur 8, Tafel CLXXXXIII mit K, K′, K″, K‴ bezeichneten Höhe ausfüllt, in welcher der Bruch entstehen würde, und dann die Dicke des Gewölbes allmählich bis in die Mitte des Schlußsteins abnehmen läßt.

Ich habe, wie Couplet, gefunden, daß die geringste Dicke, welche man einem zu gleicher Dicke abgeglichenen Bogen geben kann, damit er sich noch trage, nicht weniger als den fünfzigsten Theil des Halbmessers betragen darf.

Da indessen die Steine und Backsteine, welche man zu Gewölben verwendet, niemals so vollkommen sind, als es die Theorie voraussetzt, so kann man die geringste Dicke der Tonnengewölbe von 9 bis 15 Fuß Halbmesser auf 4 Zoll setzen, und dabei die Backsteine mit den breiten Flächen neben einander reihen, oder in zwei Schichten, mit den breiten Seiten flach auf einander liegend, verwenden, wie bei Gewölben nach der Manier du Rousillon; bei weichen Steinen dagegen, wie die an der Genovevenkirche verwendeten, kann man 5 Zoll annehmen und diese Dicke von der Mitte des Schlußsteins bis in die Gegend zunehmen lassen, wo sich der Rücken von den Widerlagern trennt.

Sind aber die Gewölbewinkel bis in die mit N, Figur 8, Tafel CLXXXXIII, bezeichnete Gegend ausgefüllt, so findet man, daß diese Dicke beim gothischen Bogen nur $^1/_{143}$, und bei Gewölben im vollen Zirkel $^1/_{60}$ des Radius zu seyn braucht.

Für gedrückte, aus einem einzigen Kreisbogen bestehende, Gewölbe nimmt man zur geringsten Dicke den fünften Theil der Höhe des Bogens KG oder des Sinusversus der Hälfte dieses Bogens. Diese letzte Regel ist auch auf gothische Gewölbe und alle Arten von Tonnengewölben anwendbar. Das auf diese Weise erhaltene Resultat vermehrt man bei Gewölben, die mit Gyps gemauert sind, noch um 1 Linie auf den Längenfuß oder um $^1/_{144}$ der Sehne KG des abgeglichenen Theils.

Für Gewölbe mit Mörtel gemauert fügt man $^1/_{96}$ zu jenem Resultat, und $^1/_{72}$ für Gewölbe in weichen Hausteinen, die keine Last zu tragen haben. Diese Dicke nimmt von der Mitte des Schlußsteins bis zu dem Punkt N zu, wo sich das Gewölbe von den Gewölbewinkeln trennt, und hier ist sie ein- und einhalbmal so groß, als sie für die Mitte des Schlußsteins gefunden wurde. Auf diese Weise

wurde die Dicke aller in Stein von Conflans ausgeführter Tonnengewölbe der Genovevenkirche geregelt.

Die Kreuz- und Klostergewölbe, so wie die sphärischen von gleichem Durchmesser mit Tonnengewölben, können eine geringere Dicke erhalten; man braucht also das Resultat, das ihrem Profil entspricht, nicht, wie so eben geschehen ist, zu vermehren.

Nach allen Beobachtungen, die ich gemacht habe, scheint mir die Construction in Hausteinen für Gewölbe von sehr großem Durchmesser vor der in Back- oder Bruchsteinen den Vorzug zu verdienen, sobald man ihnen nicht eine sehr geringe Dicke geben kann, so wie auch zu Gewölben öffentlicher Gebäude, welche mit Verzierungen decorirt werden müssen, wie die Genovevenkirche. Diese Art der Construction ist es auch, die ich zum Wiederaufbau der Kuppel der Getraidehalle zu Paris in dem von mir im Jahr 1803 bekannt gemachten Memoire vorgeschlagen habe, und auf welches ich, hinsichtlich der Details und Bemerkungen über die Mittel diese Kuppel in Backsteinen, in Holz oder Eisen auszuführen, verweise.

Die Gewölbe von Hausteinen haben den Vortheil, dem Setzen nicht unterworfen zu seyn, und sich unabhängig von dem angewendeten Mörtel oder Gyps selbst zu tragen. Es ist wahr, daß diese Stoffe die behauenen Gewölbsteine nicht mit so viel Kraft binden können, als Bruchsteine; allein man kann sie auf eine noch sicherere Art durch Klammern, oder in die Fugen befestigte Döbel ersetzen. Es giebt Baumeister, welche sich, statt der Döbel runder Kiesel bedienten, die sie in die zu diesem Zweck in den zusammen gehörigen Fugenflächen angebrachten halbkugelförmigen Aushöhlungen befestigten. Sie wollten dadurch das Abgleiten der Gewölbsteine hindern, wenn bei dem Gewölbe einige Bewegungen oder Trennungen stattfänden, die dann durch diese Vorsicht nicht gefährlich seyn sollten. Ich habe in den Resten einiger antiker, in Hausteinen ausgeführter, Gewölbe Roms Vorsprünge gefunden, die an der Fugenfläche des einen Gewölbsteines angebracht und in eine Vertiefung des andern eingelassen waren, so daß sie mit jenen Kieseln gleiche Wirkung hatten. Man bemerkt daselbst auch die Einschnitte der Klammern, welche die Steine einer und derselben Reihe unter sich verbanden. Endlich hat man in mehreren zerstörten gothischen Gebäuden Knöpfe von Knochen (têtes d'os) statt der Kiesel in den Rippenfugen der Hausteine gefunden, um diese zu verhindern, sich zu verschieben und auf ihren Fugen fortzugleiten.

Anhang

zur sechsten Abtheilung des neunten Buchs.

Nachdem wir nun die Theorie der Gewölbe auf eine Weise begründet haben, daß ihre durch Versuche bestätigte Resultate alles Zutrauen verdienen, hielten wir es für wichtig, außerdem noch die für die Praxis leichten Anwendungen davon mitzutheilen. Zur unmittelbaren Erreichung dieses Zwecks haben wir nachfolgende, in Meter und Fuß berechnete, Tabellen beigefügt, welche die Dicke der am meisten gebräuchlichen Tonnengewölbe im vollen Zirkel, so wie ihrer Widerlager von 4 bis 42 $^1/_2$ Meter und von **12** bis **130** Fuß Breite enthalten. Es ist dabei zugleich auf die drei verschiedenen Einrichtungen Rücksicht genommen, unter denen diese Gewölbe gewöhnlich vorkommen, nämlich: mit horizontal abgeglichenem Rücken, um Fußböden zu bilden, ferner mit zur Hälfte horizontalem Rücken und die andere Hälfte von gleicher Dicke, endlich zur Hälfte horizontal abgeglichen nnd die andere Hälfte von ungleicher Dicke für Gewölbe, die keine Fußböden über sich haben, wie die der Kirchen und anderer großer Gebäude.

Obgleich diese Tabellen nur für Gewölbe im vollen Zirkel berechnet sind, so kann man doch leicht mit Hülfe einer Figur, wie Figur 8, Tafel **CLXXXXIII**, die correspondirenden Abmessungen für gedrückte und über den vollen Zirkel erhöhte Gewölbe finden.

Nachdem man nämlich die Hälfte der Krümmungscurve des fraglichen gedrückten oder überhöhten Gewölbes gezeichnet hat, zieht man durch den Punkt **B** eine unter 45 Grad gegen die Vertikale **B6** geneigte Linie **B4**, trägt darauf von **B** nach **4** die aus der Tabelle entnommene Dicke eines Gewölbes im vollen Bogen von demselben Durchmesser und derselben Einrichtung hinsichtlich der Dicke des Rückens; beschreibt hierauf den Viertelskreis **1,4,6** und zieht sodann aus der Mitte **G** des fraglichen Bogens die Sehne **GB**, so bestimmt deren Durchschnitt mit dem Viertelskreis den Punkt, durch den eine Parallele mit der Vertikalen **B6** die gesuchte Dicke der Widerlager anzeigt, welche dem in Rede stehenden gedrückten oder überhöhten Gewölbe zukommt. So giebt für ein um ein Drittel gedrücktes Gewölbe die verlängerte Sehne **G'B** den Durchschnitt **3** mit dem Viertelskreis, und es schneidet die Vertikale **3b** die Dicke der zugehörigen Widerlager ab.

Muß die Dicke am Schlußstein und gegen die Mitte der Gewölbewinkel stärker oder schwächer seyn, als sie die Tabelle angiebt, so muß

man, wenn der Theil mit gekrümmtem Rücken gleiche Dicke haben soll, die Quadratwurzel aus der mit **mL** multiplicirten doppelten Dicke dieses Theils von **B** nach **4** tragen, sodann den Viertelskreis **1,4,6** beschreiben, welcher nun mittelst der über den Punkt **B** verlängerten Sehne die Dicke der Widerlager bestimmt.

Nehmen wir z. B. ein Gewölbe von **30** Fuß Durchmesser an, das zur Hälfte horizontal abgeglichen und in der andern Hälfte gleich dick werden soll, dem man aber statt der **10** Zoll Dicke am Schlußstein, welche die Tabelle anzeigt, nur eine Dicke von **6** Zoll geben wollte, so hätte man, da der Halbmesser **15** Fuß ist,

$$\mathbf{KL} = \frac{\mathbf{15 \cdot 70}}{\mathbf{99}} = \mathbf{10{,}6} \text{ und } \mathbf{iK} = \mathbf{15} - \mathbf{10{,}6} = \mathbf{4{,}4},$$

wodurch $\mathbf{mL} = \mathbf{6{,}2}$ wird. Dies mit der doppelten Dicke des Schlußsteins, also mit **1** Fuß, multiplicirt, giebt zur Quadratwurzel daraus **2,49** oder sehr nahe **2** Fuß **6** Zoll, statt der **2** Fuß **8** Zoll **9** Linien in der Tabelle. Werden nun diese **2** Fuß **6** Zoll von **B** nach **4** getragen, und wird dann wie oben verfahren, so schneidet die verlängerte Sehne **GB** eine dem mehr oder weniger gedrückten Gewölbe angemessene Dicke für die Widerlager ab.

Die hier erwähnte Quadratwurzel läßt sich auf die schon oben angezeigte Art geometrisch finden. Man trägt nämlich die doppelte Dicke des Gewölbes von **B** nach **n**, und **mL** von **B** nach **h** und beschreibt über **nh** als Durchmesser einen Halbkreis, so schneidet dieser die Horizontale **BO** in einem Punkte, der die von **B** nach **4** auf die unter **45** Grad geneigte Linie zu tragende Dicke anzeigt; das Uebrige ist wie vorhin.

Wenn die Dicken **GD, KN** des in krummer Linie abgeglichenen Gewölbetheils den in den Tabellen angegebenen nicht gleich sind, so trägt man die Summe der gegebenen Dicken von **B** nach **n**, und **mL** von **B** nach **h** und verfährt hierauf wie oben.

Es ist leicht ersichtlich, daß man unter Zuziehung der Tabellen auf diese Weise leicht die Dicke der Widerlager aller Arten, auf die drei, in den Tabellen angegebenen, Methoden abgeglichener Tonnengewölbe finden kann, und zwar sowohl für gedrückte, als für über den vollen Bogen erhöhte.

Da man bei Berechnung dieser Tabellen von den Vertikalwirkungen, welche noch zur Vermehrung der Festigkeit der Widerlager beitragen, abstrahirt hat, so können die Resultate für jede Höhe der Widerlager gelten, wie wir dies oben **266**, gezeigt haben, und man kann sie mit

Sicherheit auf alle Gewölbe anwenden, bei welchen die Höhe der Widerlager nicht größer als der Durchmesser ist.

Für Klostergewölbe nimmt man nur zwei Drittel der gefundenen Dicke und für sphärische Gewölbe blos die Hälfte. Was die Kreuzgewölbe betrifft, so werden die Dimensionen ihrer Stützpunkte nach den oben Seite **308** bis **311** aus einander gesetzten Methoden bestimmt.

Anmerkung.

Wir haben uns häufig des Fußmaßes statt des Meters bedient: **1)** Weil es bekannter und seine Größe den Abmessungen mehr proportionirt ist, welche man die Gewohnheit hat, den Theilen der Gebäude zu geben. **2)** Weil die Eintheilung von **12** zu **12**, welche gestattet, Halbe, Drittel, Viertel und Sechstel zu nehmen, wie es in den Künsten so häufig geschieht, vortheilhafter ist, als die Decimaleintheilung, die nur Halbe und Fünftel zu geben zuläßt.

Man würde den Gebrauch des Meters sehr erleichtern, wenn man ihn in drei metrische Fuße, einen solchen Fuß sodann in **12** Zoll und den Zoll in **12** Linien theilte. Dieser Fuß würde größer seyn, als der alte französische (**pied de roi**) und zwar um ein wenig mehr als $3^3/_4$ Linien oder um $^1/_{39}$, so daß **39** metrische Fuß so groß als **40** alte Fuß seyn würden, und eben so **39** metrische Zoll = **40** alte Zoll, **39** metrische Linien = **40** alte Linien.

Man sieht, daß es auf diese Weise sehr leicht wäre, die alten Fuße in metrische Fuße oder umgekehrt zu verwandeln, und Gebrauch von den Tabellen in Fuß, wie von denen in Meter zu machen.[1])

---

1) Wir haben uns enthalten, etwas an dieser in der Ausgabe von 1805 zum erstenmale befindlichen Anmerkung zu ändern. Man weiß, daß ein Decret vom 12. Februar 1812 seitdem die Anfertigung von Eichmaßen und Gewichten gestattet, die auf der einen Seite Brüche und Vielfache der Grundeinheit enthalten, und daß endlich der Gebrauch des Meterfußes gesetzlich angenommen worden ist.

Tabelle der verschiedenen Dicke, welche man Tonnengewölben im vollen Zirkel und ihren Widerlagern im Verhältniß zu ihrem Durchmesser und nach der Art, wie sie abgeglichen sind, geben muß.

Durchmesser von Viertel- zu Viertelmeter.	Die Gewölbe sind abgeglichen: ganz horizontal. Dicke der Gewölbe am Schlußstein	ganz horizontal. Dicke der Widerlager	zur Hälfte horizontal u. zur Hälfte in gleicher Dicke. Dicke der Gewölbe am Schlußstein	zur Hälfte horizontal u. zur Hälfte in gleicher Dicke. Dicke der Schlußstein	zur Hälfte horizontal und zur Hälfte in ungleicher Dicke. Dicke der Gewölbe. In d. Mitte d. Gewölbewinkel	zur Hälfte horizontal und zur Hälfte in ungleicher Dicke. Dicke der Gewölbe. Am Schlußsteln	zur Hälfte horizontal und zur Hälfte in ungleicher Dicke. Dicke der Widerlager
4,0	0,083	0,363	0,111	0,444	0,125	0,083	0,400
4,25	0,088	0,386	0,118	0,472	0,132	0,088	0,425
4,50	0,093	0,409	0,125	0,500	0,140	0,093	0,450
4,75	0,098	0,432	0,131	0,527	0,148	0,098	0,475
5,0	0,104	0,454	0,138	0,550	0,156	0,104	0,500
5,25	0,109	0,477	9,145	0,583	0,164	0,109	0,525
5,50	0,114	0,500	0,152	0,611	0,171	0,114	0,550
5,75	0,119	0,522	0,159	0,638	0,179	0,119	0,575
6,0	0,125	0,545	0,166	0,666	0,187	0,125	0,600
6,25	0,130	0,568	0,173	0,694	0,195	0,130	0,625
6,50	0,135	0,590	0,180	0,722	0,203	0,135	0,650
6,75	0,140	0,613	0,187	0,750	0,210	0,140	0,675
7,0	0,145	0,636	0,194	0,777	0,218	0,145	0,700
7,25	0,151	0,659	0,201	0,805	0,226	0,151	0,725
7,50	0,156	0,681	0,208	0,833	0,234	0,156	0,750
7,75	0,161	0,704	0,215	0,861	0,242	0,161	0,775
8,0	0,166	0,727	0,222	0,888	0,250	0,166	0,800
8,25	0,171	0,745	0,229	0,916	0,257	0,171	0,825
8,50	0,176	0,772	0,236	0,944	0,265	0,176	0,850
8,75	0,182	0,795	0,243	0,972	0,272	0,182	0,875
9,0	0,187	0,818	0,250	1,000	0,281	0,187	0,900
9,25	0,192	0,841	0,256	1,027	0,289	0,192	0,925
9,50	0,197	0,863	0,263	1,055	0,296	0,197	0,950
9,75	0,202	0,886	0,273	1,083	0,304	0,202	0,975
10,0	0,207	0,909	0,277	1,111	0,312	0,207	1,000
10,25	0,213	0,932	0,284	1,138	0,320	0,213	1,025
10,50	0,218	0,954	0,291	1,166	0,328	0,218	1,050
10,75	0,223	0,977	0,298	1,194	0,335	0,223	1,075
11,0	0,228	1,000	0,305	1,222	0,343	0,228	1,100
11,25	0,233	1,022	0,312	1,250	0,351	0,233	1,125
11,50	0,239	1,045	0,319	1,277	0,359	0,239	1,150
11,75	0,244	1,068	0,326	1,305	0,367	0,244	1,175
12,0	0,250	1,090	0,333	1,333	0,375	0,250	1,200
12,25	0,255	1,113	0,340	1,361	0,382	0,255	1,225
12,50	0,260	1,136	0,347	1,388	0,390	0,260	1,250

Durchmesser von Viertel- zu Viertel- meter.	Die Gewölbe sind abgeglichen: ganz horizontal. Dicke der Gewölbe am Schlußstein	ganz horizontal. Dicke der Widerlager	zur Hälfte horizontal u. zur Hälfte in gleicher Dicke. Dicke der Gewölbe am Schlußstein	zur Hälfte horizontal u. zur Hälfte in gleicher Dicke. Dicke der Widerlager	zur Hälfte horizontal und zur Hälfte in ungleicher Dicke. Dicke der Gewölbe. In d. Mitte d. Gewölbewinkel	zur Hälfte horizontal und zur Hälfte in ungleicher Dicke. Dicke der Gewölbe. Am Schlußstein	zur Hälfte horizontal und zur Hälfte in ungleicher Dicke. Dicke der Widerlager
12,75	0,265	1,159	0,354	1,416	0,398	0,265	1,275
13,0	0,270	1,181	0,361	1,444	0,406	0,270	1,300
13,25	0,276	1,204	0,368	1,472	0,414	0,276	1,325
13,50	0,281	1,227	0,375	1,500	0,421	0,281	1,350
13,75	0,286	1,250	0,382	1,527	0,429	0,286	1,375
14,0	0,291	1,273	0,389	1,555	0,437	0,291	1,400
14,25	0,296	1,295	0,396	1,583	0,445	0,296	1,425
14,50	0,302	1,318	0,402	1,611	9,453	0,302	1,450
14,75	0,307	1,340	0,409	1,638	0,460	0,307	1,475
15,0	0,312	1,363	0,416	1,666	0,468	0,312	1,500
15,25	0,317	1,385	0,423	1,694	0,476	0,317	1,525
15,50	0,322	1,409	0,430	1,722	0,484	0,322	1,550
15,75	0,328	1,431	0,437	1,750	0,492	0,328	1,575
16,0	0,333	1,454	0,444	1,777	0,500	9,333	1,600
16,25	0,338	1,477	0,451	1,805	0,508	0,338	1,625
16,50	0,343	1,500	0,458	1,833	0,516	9,343	1,650
16,75	0,348	1,522	0,465	1,861	0,523	0,348	1,675
17,0	0.353	1,545	0,472	1,888	0,531	0,353	1,700
17,25	0,359	1,568	0,479	1,916	0,539	0,359	1,725
17,50	0,364	1,590	0,486	1,944	0,546	0,364	1,750
17,75	0,369	1,613	0,493	1,972	0,554	0,369	1,775
18,0	0,374	1,636	0,500	2,000	0,562	0,374	1,800
18,25	0,379	1,659	0,507	2,027	0,570	0,379	1,825
18,50	0,385	1,681	0,514	2,055	0,578	0,385	1,850
18,75	0,390	1,704	0,521	2,083	0,585	0,390	1,875
19,0	0,395	1,727	0,528	2,111	0,593	0,395	1,900
19,25	0,401	1,750	0,535	2,138	0,601	0,401	1,925
19,50	0,406	1,773	0,542	2,166	0,609	0,406	1,950
19,75	0,411	1,795	0,549	2,194	0,617	0,411	1,975
20,0	0 416	1,818	0,556	2,222	0,625	0,416	2,000
20,25	0,421	1,840	0,563	2,250	0,632	0,521	2,025
20,50	0,426	1,863	0,570	2,277	0,640	0,426	2,050
20,75	0,432	1,886	0,576	2,305	0,648	0,432	2,075
21,0	0,437	1,909	0,583	2,332	0,656	0,437	2,100
21,25	0,442	1,931	0,590	2,361	0,664	0,442	2,125
21,50	0,447	1,954	0,597	2,388	0,672	0,447	2,150
21,75	0,453	1,977	0,604	2,416	0,679	0,453	2,175
22,0	0,458	1,000	0,611	2,444	0,687	0,458	2,200
22,25	0,463	1,022	0,618	2,472	0,695	0,463	2,225
22,50	0,468	1,045	0,625	2,500	0,703	0,468	2,250

Durchmesser von Viertel- zu Viertel- meter.	Die Gewölbe sind abgeglichen							
	ganz horizontal.		zur Hälfte horizontal u. zur Hälfte in gleicher Dicke.		zur Hälfte horizontal und zur Hälfte in ungleicher Dicke.			
	Dicke		Dicke		Dicke			
	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe. In d. Mitte d. Gewölbewinkel	der Gewölbe. Am Schlußstein	der Widerlager	
22,75	0,473	1,068	0,631	2,527	0,711	0,473	2,275	
23,0	0,479	1,090	0,638	2,555	0,718	0,479	2,300	
23,25	0,484	1,114	0,645	2,583	0,726	0,484	2,325	
23,50	0,489	1,136	0,651	2,611	0,734	0,489	2,350	
23,75	0,494	1,159	0,659	2,638	0,742	0,494	2,375	
24,0	0,499	2,181	0,666	2,666	0,750	0,499	2,400	
24,25	0,505	2,204	0,673	2,694	0,757	0,505	2,425	
24,50	0,510	2,227	0,680	2,722	0,765	0,510	2,450	
24,75	0,515	2,250	0,687	2,750	0,773	0,515	2,475	
25,0	0,520	2,272	0,694	2,777	0,781	0,520	2,500	
25,25	0,526	2,295	9,701	2,805	0,789	0,526	2,525	
25,50	0,531	2,318	0,708	2,833	0,796	0,531	2,550	
25,75	0,536	2,340	0,715	2,861	0,804	0,536	2,575	
26,0	0,541	2,363	0,722	2,888	0,812	0,541	2,600	
26,25	0,546	2,386	0,729	2,916	0,820	0,546	2,625	
26,50	0,551	2,409	0,736	2,944	0,828	0,551	2,650	
26,75	0,557	2,431	0,743	2,971	0,835	0,557	2,675	
27,0	0,562	2,454	0,750	3,000	0,843	0,562	2,700	
27,25	0,567	2,472	0,757	3,027	0,851	0,567	2,725	
27,50	0,572	2,500	0,763	3,055	0,859	0,572	2,750	
27,75	0,578	2,522	0,770	3,083	0,867	0,578	2,775	
28,0	0,583	2,545	0,777	3,111	0 875	6,583	2,800	
28,25	0.588	2,568	0,784	3,138	0,882	0,588	2,825	
28,50	0,593	2,590	0,791	3,166	0,890	0,593	2,850	
28,75	0,598	2,613	0,798	3,194	0,898	0,598	2,875	
29,0	0,604	2,636	0,805	3,222	0,906	0,604	2,900	
29,25	0,609	2,659	0,812	3,250	0,914	0,609	2,925	
29,50	0,614	2,681	0,819	3,273	0,921	0,614	2,950	
29,75	0,619	2,704	0,826	3,305	0,929	0,619	2,975	
30,0	0,624	2,727	0,833	3,333	0,937	0,524	3,000	
30,25	0,630	2,750	0,840	3,361	0,945	0,630	3,025	
30 50	0,635	2,772	0,847	3,388	0,953	0,635	3,050	
30,75	0,640	2,795	0,854	3,416	0,960	0,640	3,075	
31,0	0,645	2,818	0,861	3,444	0,068	0,645	3,100	
31,25	0,650	2,841	0,868	3,472	0,976	0,650	3,125	
31,50	0,656	2,863	0,876	3,500	0,984	0,656	3,150	
31,75	0,661	2,986	0,881	3,527	0,992	0,661	3,175	
32,0	0,666	2,909	0,888	3,555	1,000	0,666	3,200	
32,25	0,671	2,932	0,895	3,587	1,007	0,671	3,225	
32,50	0,676	2,954	0,902	3,611	1,015	0,676	3,250	

Durchmesser von Viertel- zu Viertel- meter.	Die Gewölbe sind abgeglichen							
	ganz horizontal.		zur Hälfte horizontal u. zur Hälfte in gleicher Dicke.		zur Hälfte horizontal und zur Hälfte in ungleicher Dicke.			
	Dicke		Dicke		Dicke			
	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe. In d. Mitte d. Gewölbewinkel	der Gewölbe. Am Schlußstein	der Widerlager	
32,75	0,682	3,977	0,909	3,638	1,023	0,682	3,275	
33,0	0,687	3,000	0,916	3,666	1,031	0,687	3,300	
33,25	0,694	3,022	0,923	3,694	1,039	0,692	3,325	
33,50	0,697	3,045	0,930	3,722	1,046	0,697	3,350	
33,75	0,703	3,068	0,937	3,750	1,054	0,703	3,375	
34,0	0.708	3,090	0,944	3,777	1,062	0,708	3,400	
34,25	0,713	3,113	0,951	3,805	1,071	0,713	3,425	
34,50	0,718	3,136	0,958	3,833	1,078	0,718	3,450	
34,75	0,723	3,159	0,965	3,861	1,085	0,723	3,475	
35,0	0,729	3,181	0,972	3,888	1,093	0,729	3,500	
35,25	0,734	3,204	0,979	3,916	1,101	0,734	3,525	
25,50	0,739	3,227	0,986	3,944	1,109	0,739	3,550	
35,75	0,744	3,250	0,993	3,972	1,117	0,744	3,575	
36,0	0,750	3,272	1,000	4,000	1,125	0,750	3,600	
36,25	0,755	3,295	1,006	4,027	1,132	0,755	3,625	
36,50	0,760	3,317	1,013	4,055	1,140	0,760	3,650	
36,75	0,765	3,340	1,020	4,083	1,148	0,765	3,675	
37,0	0 770	3,363	1,027	4,111	1,156	0,770	3,700	
37,25	0,776	3,386	1,034	4,139	1,164	0,776	3,725	
37,50	0,781	3,409	1,041	4,166	1,171	0,781	3,750	
37,75	0,786	3,431	1,048	4,194	1,179	0,786	3,775	
38,0	0,792	3,454	1,055	4,222	1,187	0,792	3,800	
38,25	0,797	3,477	1,062	4,250	1,195	0,797	3,825	
38,50	0,802	3,500	1,069	4,277	1,203	0,802	3,850	
38,75	0,807	3,522	1,076	4,305	1,210	0,807	3,875	
39,0	0,812	3,545	1,083	4,333	1,218	0,811	3,900	
39,25	0,817	3,568	1,090	4,361	1,226	0,817	3,925	
39,50	0,822	3,590	1,097	4,388	1,234	0,822	3,950	
39,75	0,828	3,613	1,104	4,416	1,242	0,828	3,975	
40,0	0,833	3,636	1,111	4,444	1,250	0,833	4,000	
40,25	0,838	3,659	1,118	4,472	1,256	0,838	4,025	
40,50	0,843	3,681	1,125	4,500	1,265	0,843	4,050	
40,75	0,848	3,704	1,131	4,527	1,273	0,848	4,075	
41,0	0,854	3,727	1,138	4,555	1,281	0,854	4,100	
41,25	0,859	3,750	1,145	4,583	1,287	0,859	4,125	
41,50	0,864	3,772	1,152	4,611	1,296	0,864	4,150	
41,75	0,869	3,795	1,159	4,638	1,304	0,869	4,175	
42,0	0,874	3,818	1,166	4,666	1,312	0,874	4,200	
42,25	0,880	3,840	1,173	4,694	1,320	0,880	4,220	
42,50	0,885	3,863	1,180	4,722	1,328	0,885	4,255	

Tabelle der verschiedenen Dicke, welche man Tonnengewölben im vollen Zirkel und ihren Widerlagern im Verhältniß zu ihrem Durchmesser und nach der Art, wie sie abgeglichen sind, geben muß.

Durchmesser in Fuß	Ganz horizontal abgeglichen.		Halb horizontal und halb in gleicher Dicke abgeglichen.		Halb horizontal u. halb in ungleicher Dicke abgeglichen.		
	Dicke		Dicke		Dicke		
	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe in der Mitte der Gewölbewinkel	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager
	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L	F. Z. L	F. Z. L.	F. Z. L	F. Z. L
12	0. 3. 0	1. 1. 1	0. 4. 0	1. 4. 0	0. 4. 6	0. 3. 0	1. 2. 5
13	0. 3. 3	1. 2. 2	0. 4, 4	1. 5. 4	0. 4. 10	0. 3. 3	1. 3. 7
14	0. 3. 6	1. 3. 3	0. 4. 8	1. 6. 8	0. 5. 3	0. 3. 6	1. 4. 9
15	0. 3. 9	1. 4. 4	0. 5. 0	1. 8. 0	0. 5. 7	0. 3. 9	1. 6. 0
16	0. 4. 0	1. 5. 6	0. 5. 4	1. 9. 4	0. 6. 0	0. 4. 0	1. 7. 2
17	0. 4. 3	1. 6. 6	0. 5. 8	1. 10. 8	0. 6. 4	0. 4. 3	1. 8. 4
18	0. 4. 6	1. 7. 7	0. 6. 0	2. 0. 0	0. 6. 9	0. 4. 6	1. 9. 7
19	0. 4. 9	1. 8. 8	0. 6. 4	2. 1. 4	0. 7. 1	0, 4. 9	1. 10. 9
20	0. 5. 0	1. 9. 10	0. 6. 8	2. 2. 8	0. 7. 6	0. 5. 0	2. 0. 0
21	0. 5. 3	1. 11. 0	0. 7. 0	2. 4. 0	0. 8. 0	0. 5. 3	2. 1. 2
22	0. 5. 6	2. 0. 0	0. 7. 4	2. 5. 4	0. 8. 3	0. 5. 6	2. 2. 5
23	0. 5. 9	2. 1. 1	0. 7. 8	2. 6. 8	0. 8. 7	0. 5. 9	2. 3. 7
24	0. 6. 0	2. 2. 2	0. 8. 0	2. 8. 0	0. 9. 0	0. 6. 0	2. 4. 9
25	0. 6. 3	2. 3. 3	0. 8. 4	2. 9. 4	0. 9. 4	0. 6. 3	2. 6. 0
26	0. 6. 6	2. 4. 4	0. 8. 8	2. 10. 8	0. 9. 9	0. 6. 6	2. 7. 2
27	0. 6. 9	2. 5. 6	0. 9. 0	3. 0. 0	0. 10. 1	0. 6. 9	2. 8. 5
28	0. 7. 0	2. 6. 7	0. 9. 4	3. 1. 4	0. 10. 2	0. 7. 0	2. 9. 7
29	0. 7. 3	2. 7. 8	0. 9. 8	3. 2. 8	0. 10. 10	0. 7. 3	2. 10. 9
30	0. 7. 6	2. 8. 9	0. 10. 0	3. 4. 0	0. 11. 3	0. 7. 6	3. 0. 0
31	0. 7. 9	2. 9. 10	0. 10. 4	3. 5. 4	0. 11. 8	0, 7. 9	3. 1. 2
32	0. 8. 0	2. 11. 0	0. 10. 8	3. 6. 8	1. 0. 0	0. 8. 0	3. 2. 5
33	0. 8. 3	3. 0. 0	0. 11. 0	3. 8. 0	1. 0. 4	0. 8. 3	3. 3. 7
34	0. 8. 6	3. 1. 1	0. 11. 4	3. 9. 4	1. 0. 9	0. 8. 6	3. 4. 9
35	0, 8. 9	3. 2. 2	1. 11. 8	3. 10. 8	1. 1. 1	0. 8. 9	3. 6. 0
36	0. 9. 0	3. 3. 3	1. 0. 0	4. 0. 0	1. 1. 6	0. 9. 0	3. 7. 2
37	0. 9. 3	3. 4. 4	1. 0. 4	4. 1. 4	1. 1. 10	0. 9. 3	3. 8. 5
38	0. 9. 6	2. 5. 6	1. 0. 8	4. 2. 8	1. 2. 3	0. 9. 6	3. 9. 7
39	0. 9. 9	3. 6. 7	1. 1. 0	4. 4. 0	1. 2. 7	0. 9. 9	3. 10. 9
40	0. 10. 0	3 7. 8	1. 1. 4	4. 5. 4	1. 3. 0	0. 10. 0	4. 0. 0
41	0. 10. 3	3. 8. 9	1. 1. 8	4. 6. 8	1. 3. 4	0. 10. 3	4. 1. 2
42	0. 10. 6	3. 9. 10	1. 2. 0	4. 8. 0	1. 3. 9	0. 10. 6	4. 2. 5
43	0. 10. 9	3. 11. 11	1. 2. 4	4. 9. 4	1. 4. 1	0. 10. 9	4. 3. 7
44	0. 11. 0	4. 0. 0	1. 2. 8	4. 10. 8	1. 4. 6	0. 11. 0	4. 4. 9
45	0. 11. 3	4. 1. 1	1. 3. 0	5. 0. 0	1. 4. 10	0. 11. 3	4. 6. 0
46	0. 11. 6	4. 2. 2	1. 3. 4	5. 1. 4	1. 5. 3	0. 11. 6	4. 7. 2
47	0. 11. 9	4. 3. 3	1. 3. 8	5. 2. 8	1. 5. 7	0. 11. 9	4. 8. 5
48	1. 0. 0	4. 4. 4	1. 4. 0	5. 4. 0	1, 6. 0	1. 0. 0	4. 9. 7

Durchmesser in Ruthen	Ganz horizontal abgeglichen.		Halb horizontal und halb in gleicher Dicke abgeglichen.		Halb horizontal u. halb in ungleicher Dicke abgeglichen		
	Dicke		Dicke		Dicke		
	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe in der Mitte der Gewölbewinkel	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager
	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.
49	1. 0. 3	4. 5. 5	1. 4. 4	5. 5. 4	1. 6. 6	1. 0. 3	4. 10. 9
50	1. 0. 6	4. 6. 7	1. 4. 8	5. 6. 8	1. 6. 9	1. 0. 6	5. 0. 0
51	1. 0. 9	4. 7. 8	1. 5. 0	5. 8. 0	1. 7. 1	1. 0. 9	5. 1. 2
52	1. 1. 0	4. 8. 9	1. 5. 4	5. 9. 4	1. 7. 6	1. 1. 0	5. 2. 5
53	1. 1. 3	4. 9. 10	1. 5. 8	5. 10. 8	1. 7. 10	1. 1. 3	5. 3. 7
54	1. 1. 6	4. 10. 11	1. 6. 0	6. 0. 0	1. 8. 3	1. 1. 6	6. 4. 9
55	1. 1. 9	5. 0. 0	1. 6. 4	6. 1. 4	1. 8. 7	1. 1. 9	5. 6. 0
56	1. 2. 0	5. 1. 1	1. 6. 8	6. 2. 8	1. 9. 0	1. 2. 0	5. 7. 2
57	1. 2. 3	5. 2. 2	1. 7. 0	6. 4. 0	1. 9. 4	1. 2. 3	5. 8. 5
58	1. 2. 6	5. 3. 3	1. 7. 4	6. 5. 4	1. 9. 9	1. 2. 6	5. 9. 7
59	1. 2. 9	5. 4. 4	1. 7. 8	6. 6. 8	1. 10. 1	1. 2. 9	5. 10. 9
60	1. 3. 0	5. 5. 5	1. 8. 0	6. 8. 0	1. 10. 6	1. 3. 0	6. 0. 0
61	1. 3. 3	5. 6. 7	1. 8. 4	6. 9. 4	1. 10. 10	1. 3. 3	5. 1. 2
62	1. 3. 6	5. 7. 8	1. 8. 8	6. 10. 8	1. 11. 3	1. 3. 6	6. 2. 5
63	1. 3. 9	5. 8. 9	1. 9. 0	7. 0. 0	1. 11. 7	1. 3. 9	6. 3. 7
64	1. 4. 0	5. 9. 10	1. 9. 4	7. 1. 4	2. 0. 0	1. 4. 0	6. 4. 9
65	1. 4. 3	5. 10. 11	1. 9. 8	7. 2. 8	2. 0. 4	1. 4. 3	6. 6. 0
66	1. 4. 6	6. 0. 0	1. 10. 0	7. 4. 0	2. 0. 9	1. 4. 6	6. 7. 2
67	1. 4. 9	6. 1. 1	1. 10. 4	7. 5. 4	2. 1. 1	1. 4. 9	6. 8. 5
68	1. 5. 0	6. 2. 2	1. 10. 8	7. 6. 8	2. 1. 6	1. 5. 0	6. 9. 7
69	1. 5. 3	6. 3. 3	1. 11. 0	7. 8. 0	2. 1. 10	1. 5. 3	6. 10. 9
70	1. 5. 6	6. 4. 4	1. 11. 4	7. 9. 4	2. 2. 3	1. 5. 6	7. 0. 0
71	1. 5. 9	6. 5. 5	1. 11. 8	7. 10. 8	2. 2. 7	1. 5. 9	7. 1. 2
72	1. 6. 0	6. 6. 7	2. 0. 0	8. 0. 0	2. 3. 0	1. 6. 0	7. 2. 5
73	1. 6. 3	6. 7. 8	2. 0. 4	8. 1. 4	2. 3. 4	1. 6. 3	7. 3. 7
74	1. 6. 6	6. 8. 9	2. 0. 8	8. 2. 8	2. 3. 9	1. 6. 6	7. 4. 9
75	1. 6. 9	6. 9. 10	2. 1. 0	8. 4. 0	2. 4. 1	1. 6. 9	7. 6. 0
76	1. 7. 0	6. 10. 11	2. 1. 4	8. 5. 4	2. 4. 6	1. 7. 0	7. 7. 2
77	1. 7. 3	7. 0. 0	2. 1. 8	8. 6. 8	2 4. 10	1. 7. 3	7. 8. 5
78	1. 7. 6	7. 1. 1	2. 2. 0	8. 8. 0	2. 5. 3	1. 7. 6	7. 9. 7
79	1. 7. 9	7. 2. 2	2. 2. 4	8. 9. 4	2. 5. 7	1. 7. 9	7. 10. 9
80	1. 8. 0	7. 3. 3	2. 2. 8	8. 10. 8	2. 6. 0	1. 8. 0	8. 0. 0
81	1. 8. 3	7. 4. 4	2. 3. 0	9. 0. 0	2. 6. 4	1. 8. 3	8. 1. 2
82	1. 8. 6	7. 5. 5	2. 3. 4	9. 1. 4	2. 6. 9	1. 8. 6	8. 2, 5
83	1. 8. 9	7. 6. 7	2. 3. 8	9. 2. 8	2. 7. 1	1. 8. 9	8. 3. 7
84	1. 9. 0	7. 7. 8	2. 4. 0	9. 4. 0	2. 7. 6	1. 9. 0	8. 4. 9
85	1. 9. 3	7. 8. 9	2. 4. 4	8. 5. 4	2. 7. 10	1. 9. 3	8. 6. 0
86	1. 9. 6	7. 9. 10	2. 4. 8	9. 6. 8	2. 8. 3	1. 9. 6	8. 7. 2
87	1. 9. 9	7. 10. 11	2. 5. 0	9. 8. 0	2. 8. 7	1. 9. 9	8. 8. 6
88	1. 10. 0	8. 0. 0	2. 5. 4	9. 9. 4	2. 9. 0	1. 10. 0	8. 9. 7
89	1. 10. 3	8. 1. 1	2. 5. 8	9. 10. 8	2. 9. 4	1. 10. 3	8. 10. 9

Durchmesser in Fuß	Ganz horizontal abgeglichen.		Halb horizontal und halb in gleicher Dicke abgeglichen.		Halb horizontal u. halb in ungleicher Dicke abgeglichen.		
	Dicke		Dicke		Dicke		
	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager	der Gewölbe in d. Mitte d. Gewölbewinkel	der Gewölbe am Schlußstein	der Widerlager
	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.	F. Z. L.
90	1. 10. 6	8. 2. 2	2. 6. 0	10. 0. 0	2. 9. 9	1. 10. 6	9. 0. 0
91	1. 10. 9	8. 3. 3	2. 6. 4	10. 1. 4	2. 10. 3	1. 10. 9	9. 1. 2
92	1. 11. 0	8. 4. 4	2. 6. 8	10. 2. 8	2. 10. 7	1. 11. 0	9. 2. 5
93	1. 11. 3	8. 5. 5	2. 7. 0	10. 4. 0	2. 11. 0	1. 11. 3	9. 3. 7
94	1. 11 6	8. 6. 7	2. 7. 4	10. 5. 4	2. 11. 4	1. 11. 6	9. 4. 9
95	1. 11. 9	8. 7. 8	2. 7. 8	10. 6. 8	2. 11. 9	1. 11. 9	9. 6. 0
96	2. 0. 0	8. 8. 9	2. 8. 0	10. 8. 0	3. 0. 0	2. 0. 0	9. 7. 2
97	2. 0. 3	8. 9. 10	2. 8. 4	10. 9. 4	3. 0. 4	2. 0. 3	9. 8. 5
98	2. 0. 6	8. 10. 11	2. 8 8	10. 10. 8	3. 0. 9	2. 0. 6	9. 9. 7
99	2. 0. 9	9. 0. 0	2. 9. 0	10. 0. 0	3. 1. 1	2. 0. 9	9. 10. 9
100	2. 1. 0	9. 1. 1	2. 9. 4	11. 1. 4	3. 1. 6	2. 1. 0	10. 0. 0
101	2. 1. 3	9. 2. 2	2. 9. 8	11. 2. 8	3. 1. 10	2. 1. 3	10. 1. 2
102	2. 1. 6	9. 3. 3	2. 10. 0	11. 4. 0	3. 2. 3	2. 1. 6	10 2. 5
103	2. 1. 9	9. 4. 4	2. 10. 4	11. 5. 4	3. 2. 7	2. 1. 9	10. 3. 7
104	2. 2. 0	9. 5. 5	2. 10. 8	11. 6. 8	3. 3. 0	2. 2. 0	10. 4. 9
105	2. 2. 3	9. 6. 7	2. 11. 0	11. 8. 0	3. 3. 4	2. 2. 3	10. 6. 0
106	2. 2. 6	9. 7. 8	2. 11. 4	11. 9. 4	3. 3. 9	2. 2. 6	10. 7. 2
107	2. 2. 9	9. 8. 9	2. 11. 8	11. 10. 8	3. 4. 1	2. 2. 9	10. 8. 5
108	2. 3. 0	9. 9. 10	3. 0. 0	11. 0. 0	3. 4 6	2. 3. 0	10. 9. 7
109	2. 3. 3	9. 10. 11	3. 0. 4	12. 1. 4	3. 4. 10	2. 3. 3	10. 10. 9
110	2. 3. 6	10. 0. 0	3. 0. 8	12. 2. 8	3. 5. 3	2. 3. 6	11. 0. 0
111	2. 3. 9	10. 1. 1	3. 1. 0	12. 4. 0	3. 5. 7	2. 3. 9	11. 1. 2
112	2. 4. 0	10. 2. 2	3. 1. 4	12. 5. 4	3. 6. 0	2. 4. 0	11. 2. 5
113	2. 4. 3	10. 3. 3	3. 1. 8	12. 6. 8	3. 6. 4	2. 4. 3	11. 3. 7
114	2. 4. 6	10. 4. 4	3. 2. 0	12. 8. 0	3. 6. 9	2. 4. 6	11. 4. 9
115	2. 4. 9	10. 5. 5	3. 2. 4	12. 9. 4	3. 7. 1	2. 4. 9	11. 6. 0
116	2. 5. 0	10. 6. 7	3. 2. 8	12. 10. 8	3. 7. 6	2. 5. 0	11. 7. 2
117	2. 5 3	10. 7. 8	3. 3. 0	12. 0. 0	3. 7. 10	2. 5. 3	11. 8 5
118	2. 5. 6	10. 8. 9	3. 3. 4	13. 1. 4	3. 8. 3	2. 5. 6	11. 9. 7
119	2. 5. 9	10. 9. 10	3. 3. 8	13. 2. 8	3. 8. 7	2. 5. 9	11. 10. 9
120	2. 6. 0	10. 10. 11	3. 4. 0	13. 4. 0	3. 9. 0	2. 6. 0	12. 0. 0
121	2. 6. 3	11. 0. 0	3. 4. 4	13. 5. 4	3. 9. 4	2. 6 3	12. 1. 2
122	2. 6. 6	11. 1. 1	3. 4. 8	13. 6. 8	3. 9. 9	2. 6. 6	12. 2. 5
123	2. 6. 9	11. 2. 2	3. 5. 0	13. 8. 0	2. 10. 1	2. 6. 9	12. 3. 7
124	2. 7. 0	11. 3. 3	3. 5. 4	13. 9. 4	3. 10. 6	2. 7. 0	12. 4. 9
125	2. 7. 3	11 4. 4	3. 5. 8	13. 10 8	3. 10. 10	2. 7. 3	12. 6. 0
126	2. 7. 6	11. 5. 5	3. 6. 0	13. 0. 0	3. 11. 3	2. 7. 6	12. 7. 2
127	2. 7. 9	11. 6. 7	3. 6. 4	14. 1. 4	3. 11. 7	2. 7. 9	12. 8. 5
128	2. 8. 0	11. 7. 8	3. 6. 8	14. 2. 8	4. 0. 0	2. 8. 0	12. 9. 7
129	2. 8. 3	11. 8. 9	3. 7. 0	14. 4. 0	4. 0. 4	2. 8. 3	12. 10. 9
130	2. 8. 6	11. 9. 10	3. 7. 4	14. 5. 4	4. 0. 9	2. 8. 6	13. 0. 0

Viertes Kapitel.

Von den steinernen Brücken.

Während des letzten Jahrhunderts wurde die Brückenbaukunst durch eine Menge von Kenntnissen bereichert, die nun der Gegenstand einer besonderen Wissenschaft in der Architektur sind, deren Entwickelung aber nicht in dem Plane dieses Werks liegt. Wir beschränken uns hier auf einige Bemerkungen zu dem, was wir oben in Bezug auf mehrere Fragen der Baukunst gesagt haben, welche besonders diese Werke betreffen. [1]) Die gelehrten Werke von Peronet und Gauthey bieten denjenigen eine fruchtbare Quelle der Belehrung dar, welche sich tiefer in das Studium dieser Materie einzulassen wünschen

Die Hauptbedingungen, welche bei der Disposition dieser Art von Gebäuden zu erfüllen sind, scheinen uns mit einer ausgezeichneten Genauigkeit in dem ersten Hefte der von Bruyère gesammelten **Études sur l'Art des Constructions** angegeben zu seyn; man findet darin gewissermaßen den gedrängten Inhalt der neuen Lehre.

„Die Brückengewölbe, sagt dieser geschickte Ingenieur, stellen allgemein im Innern eine cylindrische Fläche vor, deren Erzeugungslinie sich beständig auf eine Curve stützt, die sich hinsichtlich ihrer Beschaffenheit nach den Umständen ändert. Sie kann ein Halbkreis, oder eine halbe Ellipse seyn; indessen nimmt man, statt letzterer, meistens eine Curve mit mehreren Mittelpunkten, Korblinie genannt. Die Alten haben

---

1) Siehe 1. Band, S. 198 bis 213. — 2. Band, S. 1 bis 38. — Das. S. 45 bis 83. — Das. S. 108 bis 121. — Das. 137 bis 141. — Das. S. 142 bis 148. — Das. S. 315 bis 317. — 3. Band, S. 92 bis 119. — Das. S. 173 bis 188. — Das. S. 349 bis 372. — 4. Band, S. 63 bis 116. — Das. S. 225 bis 322. — Das. S. 332 bis 350.

beinahe immer den Halbkreis zu ihren Brückenbogen genommen. Diese, den Geschmack befriedigende, Gestalt ist zugleich in Bezug auf Solidität und Oekonomie die günstigste und scheint daher den Vorzug allemal zu verdienen, wenn die gegebenen Umstände ihre Anwendung erlauben. Man kann sich indessen nicht verhehlen, daß sie nicht zum Abfluß großer Gewässer geeignet ist, weil die Ausdehnung der Stirnmauern die Breite der Durchflußöffnung vermindert, besonders dann, wenn sie gerade größer werden sollte. Da die Schutzpfeiler, wie man sie baut, nicht den ganzen Raum zwischen zwei Bogen umfassen können, so schützen sie die Kanten sehr unvollkommen gegen das Wasser und gegen schwimmende Körper. Dieselben Schutzpfeiler, gegen die Stirnmauern angewendet, scheinen keinen Theil der allgemeinen Vorschrift auszumachen, wie sich dies bei der Brücke von Sevres zeigt, die doch eine der schönsten dieser Art ist.

Die eben erwähnten Nachtheile sind den halkreisförmigen und den nach der Korblinie gestalteten Brückenbogen gemein. Der hinsichtlich des Abflusses berührte Nachtheil wird sehr bedeutend, wenn die Entfernung der beiden Ufer von einander nicht erlaubt, ihn durch die ganze Breite der Oeffnung zu compensiren. Die von der Form der Stirnmauern herrührenden Beschädigungen, so wie diese letzten Erwägungen sind oft Ursache gewesen, daß man den nach Kreisbogen gekrümmten Gewölben, deren Anfänger über dem gewöhnlichen, hohen Wasserstande liegen, den Vorzug gegeben hat.

Palladio, dessen Meinungen Gesetze in der Architektur sind, hatte allgemein Kreisbogen für die verschiedenen Brücken angenommen, von denen sich Zeichnungen in seinen Werken finden, allein er hat sich hinsichtlich der Oeffnungen und Höhe der Bogen selbst Grenzen gezogen, die er niemals überschreiten durfte. Die kleinen Dimensionen der Bogen erlaubten ihm, für seine Brücken den Charakter der Solidität, und die ihnen angemessene Dekorationsweise anzunehmen. Wenn das Wasser zu einer großen Höhe anwächst, ist es unglücklicher Weise nicht leicht, Palladio ganz nachzuahmen, und zugleich den Regeln des Geschmacks, der Nothwendigkeit, dem Wasser einen leichten Abfluß zu verschaffen und endlich den durch die Localität gebotenen Forderungen zu genügen. Eine strenge Auflösung dieser Art von Aufgaben ist selten möglich, allein man kann sich ihr zu nähern suchen."

Wir beschließen diese Citation mit der scharfsinnigen Bemerkung, welche der Verfasser der Beschreibung der Brücke von Sevres und

der Militärschule, von denen die erste aus neun Bogen im vollen Zirkel, letztere aus fünf Kreisbogen besteht, vorhergehen läßt.

„Diese zwei Brücken, sagt Bruyere, sind gleich bemerkenswerth durch ihre schöne Ausführung und durch eine glückliche Lage. Obgleich nach sehr verschiedenen Systemen gebaut, können sie doch in die Reihe der schönsten Brücken Frankreichs gesetzt werden. Ich begnüge mich hier, denjenigen, welche das eine oder das andere System ausschließlich vorziehen, zu bemerken, daß das bei der Brücke der Militärschule befolgte System durch die Nothwendigkeit motivirt ist, dem Wasser einen hinreichenden Abfluß zu lassen, während bei der Brücke zu Sevres die Breite des Bettes eine Vermehrung der Pfeiler und die Gewölbe im vollen Zirkel zu halten gestattete. Es ergiebt sich hieraus, daß jede dieser Brücken einen eignen, mit den sie umgebenden Gegenständen harmonirenden Character darstellt. Diese Uebereinstimmung ist von der Art, daß jedermann fühlen kann, daß die Brücken viel an ihrem Effect verlieren würden, wenn man eine an die Stelle der andern brächte.“

Vor dem zwölften Jahrhundert der christlichen Zeitrechnung gab es nur in Italien eine beträchtliche Menge gut construirter Brücken. Die Denkmäler der Römer, die großentheils dem Zahne der Zeit widerstanden haben, lieferten den italienischen Baumeistern Vorbilder, welche sie ziemlich genau befolgten. Im letzten Jahrhundert dagegen hat Frankreich alle andere Länder Europa's in der Zahl und Größe seiner Brücken übertroffen; die französischen Ingenieure haben Werke von einer Kühnheit und Vollkommenheit gebaut, von denen die Reste des Alterthums keine Idee geben konnten. [1])

Von den Brückenbogen im vollen Zirkel.

Beinahe alle Bogen antiker Brücken sind nach einem Halbkreise gekrümmt, und wenn die Alten genöthigt waren, gedrückte Bogen zu machen, so wendeten sie dazu einen Kreisbogen an, der kleiner als ein Halbkreis war. Die nach Ellipsen, oder diese Curve nachahmenden Zusammensetzungen aus mehreren Kreisbogen, geformten Brückenbogen sind eine neuere Erfindung.

Unter allen nach dem Halbkreise gekrümmten antiken Brücken führen wir zuerst die unter Augustus erbaute Brücke zu Rimini an, **Figur 1, Tafel CLXXXXIX.** Palladio betrachtet sie als die schönste

---

1) Gauthey, Traité de la Construction des Ponts.

aller Brücken, die er gesehen habe, und der größte Theil seiner Entwürfe sind in der That nur Copien davon. Sie besteht aus fünf nach einem Halbkreis gekrümmten Bogen; die beiden äußersten haben **22** Fuß (**7,14** Meter) und die drei andern **27** Fuß (**8,77** Meter) Oeffnung. Die Dicke der Pfeiler ist beinahe der Hälfte dieser Oeffnungen gleich, und sie bestehen aus einem Piedestal, das sich **6** Fuß **3** Zoll **9** Linien (**4** Meter) über das Wasser erhebt; darüber sind Nischen, denen Säulen zur Seite stehen, die einen Fronton tragen. Ein mit Sparrenköpfen von schönem Profil geziertes Gesims beschließt auf die befriedigendste Weise die architektonische Ordnung dieses Denkmals.

Die Figuren **2** und **3** stellen einen der drei Bogen der Engelsbrücke zu Rom, und einen durch die Mitte dieses Bogens nach der Breite der Brücke genommenen Durchschnitt vor. Dieses prächtige Monument, welches ehemals Brücke des Aelius hieß, wurde im Jahr **138** von Hadrian dem prachtvollen Grabmale gegenüber erbaut, das er sich errichten ließ. Auf den Pfeilern standen acht colossale Säulen mit Statüen von Bronze. Diese Säulen wurden während der Unruhen Italiens zerstört, und das Parapet wurde durch ein großes, bei einer Prozession, während eines Jubiläums entstandenes, Gedränge in die Tiber geworfen; Papst Clemens IX ließ es im Jahr **1668** nach den Zeichnungen Bernin's wieder aufstellen. Die Brücke wurde dann mit Piedestalen von weißem Marmor geziert, auf denen zehn colossale Statüen von Engeln standen. Die Intervallen sind mit durchbrochenen, ebenfalls marmornen Geländerpfosten versehen, deren Zwischenräume mit Gitterwerk in Bronze garnirt sind. Die halbkreisförmig gekrümmten Bogen haben **56** Fuß **5** Zoll **4** Linien (**18,33** Meter) Oeffnung, sind mit Mauervorsprüngen oder Kragsteinen bearbeitet und mit Schnitzwerk geziert; sie bilden heutzutage mit einer der kleinen Seitenarkaden auf der Seite der Engelsburg ein Debouchee von **200** Fuß (**64,96** Meter) Länge. Die Breite der Engelsbrücke beträgt **32** Fuß **1** Zoll (**10,42** Met.).

Figur **3** bietet in der Höhe der Pfeiler ein merkwürdiges Beispiel des irregulären Steinschnitts dar, von dem im **2.** Band, Seite **7** die Rede war. Wir haben schon bemerklich gemacht, daß die Ursache dieser Unregelmäßigkeiten im Allgemeinen von der Ungleichheit der Travertinsteinblöcke herrührt; allein hier könnte die Regelmäßigkeit der Schichten auf den Façen der Brücke und unter den Bogen die Einfalzung der Steine in die Schichten der Pfeiler als ein Mittel erscheinen lassen, ihren Widerstand gegen die Heftigkeit des Stroms zu sichern. Es

scheint überdies, als ob dasselbe System des Steinschnitts im Inneren der Bogenmassen beobachtet worden wäre, und daß endlich die Steine dieses Theils in jeder Richtung mit Klammern gehalten sind. [1]) Wie es sich auch verhalten mag, der, kurze Zeit nach ihrer Herstellung durch Gregor XIII. erfolgte Einsturz der Senatorenbrücke, jetzt **ponte Rotto**, deren Anblick noch mehr Solidität darzustellen scheint, dürfte dieser Vermuthung noch einiges Gewicht geben.

Von den korbbogenförmigen Brückenbogen

Die Brücke zu Orleans an der Loire gilt für diejenige, wo zuerst Bogen dieser Art angewendet wurden. Dieses Werk wurde **1751** nach den Entwürfen Hupeau's begonnen, unter seiner Leitung von Soyer fortgesetzt und **1760** beendigt. Pitrou hatte ein anderes, nur darin abweichendes Project gemacht, daß die Baustelle ein wenig verschieden und der Halbmesser der Bogen, vom Anfang der Korblinie gerechnet, größer war, wodurch eine größere Oeffnung erhalten worden wäre.

Diese Brücke besteht aus neun Bogen, deren Anfänger **12** Zoll (**325** Millimeter) über dem niedrigen Wasserstande liegen. Der mittlere Bogen, Figur **5**, hat **100** Fuß (**32,48** Meter) Oeffnung und **28** Fuß (**9** Meter) Höhe unter dem Schlußstein. Sein gedrückter Gewölbebogen besteht aus drei Kreisbogen, die zusammen eine Curve bilden, welche mehr offen ist als die Ellipse. Der Halbmesser der kleinen Bogen zunächst der Pfeiler ist **22** Fuß **9** Zoll (**7,38** Meter) und der des mittleren Bogens **56** Fuß **6** Zoll (**18,35** Meter).

Der mittlere Theil ist horizontal abgeglichen; der Schlußstein hat **6** Fuß **6** Zoll (**2,11** Meter) Höhe und die Gewölbsteine an den Enden **E** dieses Theils sind **10** Fuß (**3,24** Meter) hoch; die Höhe der andern Gewölbsteine nimmt bis zu den Anfängern ab. Da bei dieser Anordnung die schwersten Theile der Gewölbe an die Stelle der größten Wirkung kommen, so widerspricht sie den Versuchen und den Prinzipien der Theorie, wornach, behufs des Gleichgewichts der Gewölbsteine unter sich, wenn sie gleiche innere Flächen haben, die Höhe dieser Steine vom Schlußstein bis zu den Anfängern im Verhältniß der Differenzen der Tangenten zunehmen muß, wie dies im **2.** Band, Seite **116** bis **121** erklärt wurde. Wir sagten, daß diese Zunahme sich bis zum Durchschnitt

---

1) Siehe die antiken Brücken Roms von Piranesi.

mit den durch die Anfangspunkte des Gewölbebogens gehenden Vertikallinien erstrecken müsse, und dies gilt hauptsächlich für große Gewölbe, besonders aber für Brückenbogen. Die entgegengesetzte Anordnung ist ohne Zweifel eine der Ursachen des Einsturzes einiger Bogen neuerer Brücken und der mehr oder weniger bedeutenden Unfälle, die bei der Wegnahme der Gerüste mehrerer anderen, wie bei der Brücke zu Mantes, Neuilly, und besonders zu Nogent-sur-Seine statt gehabt haben.

Die Anordnung der Holzstücke, aus denen die Bogengerüste bestehen, kann auch zu dergleichen Unfällen beitragen, wenn sie nicht durch Spannriegel befestigt sind, wie wir es im 3. Band, Seite 173 bis 188 gezeigt haben; das Holz wird nämlich zusammengedrückt, und hierdurch ändert sich die Krümmung, so daß sie also nicht mehr dieselbe ist, wie die, wornach die Gewölbesteine zugehauen sind; die Krümmung wird also durch die Verrückung der Fugenschnitte und die Unregelmäßigkeit der Fugen in ihrer Wirkung verbogen.

Dazu kommt noch, daß die verschiedenen Polygone, aus denen die neueren Bogengerüste bestehen, sie weniger geeignet machen, der Last zu widerstehen, welche sie vom Emplacements der Gewölbsteine bis zum Einsetzen des Schlußsteins zu tragen haben.

Die Zusammendrückbarkeit der sogenannten aufgebundenen Gerüstbogen (**cintres retroussés**), denen man übrigens bei großen Brückenbogen entsagt zu haben scheint, trägt noch dazu bei, jene Wirkung hervorzubringen, dadurch nämlich, daß sie sich der Ausfüllung der Gewölbewinkel, oberhalb der Mauerpfeiler in der Art entgegensetzt, daß sie nicht hoch genug wird, um eine Bewegung der unteren Bogentheile zu verhindern und sie dadurch zugleich in den Stand zu setzen den Wirkungen der oberen Theile zu widerstehen. [1])

---

1) Die Meinung, welche wir hier in Bezug auf die Ursachen der Erscheinungen äußern, die bei der Wegnahme der Brückengerüste beobachtet wurden, scheint uns durch die Details folgender, in dem Traité des ponts de Gauthey niedergelegten, Thatsachen noch sehr an Gewicht zu gewinnen.

Der Bogen der Brücke zu Nogent, Figur 4, Tafel CLXXXXIX, nach einer Korblinie von 90 Fuß (29 Meter 236 Millimeter) Oeffnung und einer Höhe construirt, die nur wenig kleiner ist, als ein Drittel des Durchmessers, hat sich während des Bauens um 2 Zoll 7 Linien (74 Millimeter) gesetzt. Fünfundvierzig Tage nach der Wegnahme der Gerüste, die unmittelbar auf die Einsetzung des Schlußsteins folgte, hatte sich das Setzen um 1 Fuß 6 Linien (338 Millimeter) vermehrt und nahm bis nach Verlauf eines Jahrs

Von den kreisbogenförmigen Brückenbogen.

Man muß hinsichtlich der Brückenbogen, welche aus einem Kreisbogen bestehen, drei Fälle unterschieden. Bei dem ersten liegen die Anfänger noch im Wasser, wie dies bei den ersten in Frankreich gebauten großen Brücken, z. B. der heiligen Geistbrücke, und der

---

noch weiter um 1 Zoll 3 Linien (33 Millimeter) zu, so daß sich der Bogen alsdann um 1 Fuß 4 Zoll 7 Linien (446 Millimeter) gesetzt hatte.

Der große Bogen der Brücke zu Mantes von 120 Fuß (39 Meter) Oeffnung und einer Bogenhöhe von ein Drittel, hat sich während des Bauens um 12 Zoll (325 Millimeter), in den zehn Tagen nach der Ausrüstung um 5 Zoll (135 Millimeter), und in dem Laufe des folgenden Jahrs noch weiter um 3 Zoll 9 Linien (97 Millimeter), im Ganzen also um 1 Fuß 8 Zoll 9 Linien (557 Millimeter) gesetzt. Man hatte die Vorsicht gehabt, die Curve der Gewölbe beim Zuschneiden der Lehrbogen um 12 Zoll (325 Millimeter) zu erhöhen. Die Ausrüstung geschah dreizehn Tage nach der Einsetzung des Schlußsteins.

Die Bogen der Brücke zu Neuilly, Figur 6, haben gleichfalls 120 Fuß 39 Meter) Oeffnung; da sie aber um ein Viertel gedrückt sind, so war das Setzen beträchtlicher. Schon vermöge seines Gewichts setzte sich das Bogengerüst am Scheitel ungefähr um 1 Zoll (27 Millimeter) und während des Bauens gab es 1 Fuß 6 Linien (338 Millimeter) nach. Die Ausrüstung begann achtzehn Tage nach der Einsetzung des Schlußsteins, und drei Tage nachher betrug die Senkung 8 Zoll 9 Linien (237 Millimeter). In Allem setzte sich die Brücke um 2 Fuß 5 Zoll (66 Centimeter). Bei der Anfertigung der Bogengerüste hatte man die Bogenhöhe um 7 Zoll (189 Millimeter) vergrößert.

Die nach einem Kreisbogen gekrümmten Gewölbe der Brücke zu Nemours haben 50 Fuß (16,24 Meter) Oeffnung auf 3 Fuß 4 Zoll 7 Linien (1,11 Met.) Bogenhöhe. Am Tage nach der Ausrüstung der Gewölbe betrug das Setzen 3 Zoll 7 Linien (95 Millimeter) und vermehrte sich in der Folge bis zu 9 Zoll 6 Linien (203 Millimeter). Beim Zuschneiden der Gerüste hatte man die Bogenhöhe um 7 Zoll (189 Millimeter) vermehrt.

Die Gewölbe der Jenabrücke (zu Paris), Figur 7, sind nach einem Kreisbogen von 86 Fuß 2 Zoll 4 Linien (28 Meter) Oeffnung auf 10 Fuß 5 Zoll 10 Linien (3 Meter 4 Decimeter) Höhe gekrümmt. Die Ausrüstung geschah achtunddreißig Tage nach Einsetzung des Schlußsteins. Das Setzen betrug 3 Zoll 2 Linien (85 Millimeter), und später im Ganzen 4 Zoll 5 Linien (12 Centimeter). Die Bogenhöhe war bei Anfertigung der Lehrbogen um 8 Zoll 2 Linien (22 Centimeter) erhöht worden.

Es ergiebt sich aus diesen Beispielen, daß das Setzen, welches während des Bauens stattfindet und welches aus der

alten Brücke zu Avignon der Fall ist; im Vergleich mit der Korblinie hat diese Bogengestalt den Nachtheil, eine geringere Oeffnung zu geben und sehr massive Stirnflächen zu verursachen. Diesen letzten Fehler scheinen die ersten Baumeister gefühlt zu haben, denn die Gewölbewinkel ihrer Gewölbe sind beinahe immer blos mit Erde ausgefüllt, oder mittelst kleiner Arkaden entlastet.

Im zweiten Falle liegen die Anfänger in der am meisten beständigen Höhe des Wassers auf den Pfeilern, wie bei mehreren antiken Brücken, z. B. bei der Brücke Quatro Capi, sonst Brücke des Fabricius, der Ponte Sixto, sonst der Brücke des Sestius, zu Rom. Die Anwendung dieser Disposition nöthigt, wie im ersten Fall, zur Anbringung von Brückenaugen, um dem Wasser bei ungewöhnlich hohem Stande einen hinreichenden Abfluß zu verschaffen. Die Alten waren die ersten, welche das Beispiel dieser geistreichen Combination gaben.

In dem dritten Falle liegen die Anfänger auf der Höhe des höchsten Wasserstandes auf den Widerlagern; so findet man es von Seiten der Alten zum erstenmale an der von Palladio beschriebenen antiken Brücke zu Vicenza und bei vielen neueren Brücken. Durch die Anwendung eines Kreisbogens wird man in diesem Falle gewöhnlich genöthigt, sehr gedrückte Bogen zu machen, wodurch dann ein sehr beträchtlicher Seitendrnck der Gewölbe entsteht.

Die Erfahrung hat gelehrt, bis zu welchem Punkt man in dergleichen Fällen auf die Aushülfe durch Eisen zur Verbindung der Steine der Bogen und Pfeiler rechnen könne, um dem Ganzen eine hinreichende Widerstandsfähigkeit gegen den Druck zu verschaffen. Man weiß, daß dieser Vorsicht zum Theil die Erhaltung der aus drei sehr gedrückten kreisförmig gekrümmten Bogen der Brücke zu St. Maxence zuzuschreiben war, als in dem Feldzuge **1814** der erste Bogen am Ufer der Oise zerstört wurde.

Die schönste neuere Brücke der Art ist unstreitig diejenige, welche in den Jahren von **1806** bis **1812** vor der Militärschule zu Paris von dem Ingenieur en Chef der Brücken und Straßen Lamandé

Compression des Holzes folgt, viel geringer ist, wenn die Bogengerüste auf Pfählen ruhen, als wenn die Gewölbe, wie bei obigen Brücken, mit Ausnahme der Jenabrücke, auf sogenannten aufgebundenen Gerüstbogen (cintres retroussés) gebaut wurden. (Gauthey, construction des ponts, tome II. p. 304).

erbaut wurde. Sie besteht aus fünf gleichen Bogen in Hausteinen, von 86 Fuß 2 Zoll 4 Linien (28 Meter) Oeffnung auf 10 Fuß 1 Zoll 1 Linie (3 Meter 30 Centimeter) Höhe im Lichten; der Halbmesser des Kreisbogens ist 96 Fuß 5 Zoll 9 Linien (31 Meter 347 Centimeter). Die Höhe des Bogens verhält sich zur Sehne wie 2 : 17.

Die Anfänger der Wölbungen liegen 18 Fuß 6 Zoll 10 Linien über den Pfeilerfundamenten; der Schlußstein ist 4 Fuß 5 Zoll 2 Linien (1 Meter 44 Centimeter) dick. „Diese Dicke, sagt Lamandé in dem Ueberschlag, den er über den Bau dieser Brücke bekannt gemacht hat, ist dieselbe, wie an der Brücke Ludwigs XVI. Da man die nämliche Steinart (**la pierre de Saillancourt**, siehe 1. Buch, 1. und 2. Abtheilung) anwenden mußte, und die Oeffnung der Bogen letztgenannter Brücke ungefähr dieselbe ist, als an der projectirten neuen Brücke, so glaubten wir auch nichts an diesem Maße ändern zu müssen, das die Erfahrung als genügend ausgewiesen hat, und welches Perronet nicht für zu groß hält. Es ist bekannt, daß dieser Ingenieur sich befleißigt hat, allen seinen Brücken einen Charakter der Leichtigkeit und Eleganz zu geben, und daß er aus diesem Grunde die Dicke der Gewölbe und Pfeiler aufs Aeußerste vermindert hat. Die zahlreichen Erfahrungen (**expériences**), welche er über den Widerstand der Steine gemacht hat, und welche den Ingenieuren zu Führern dienen, hatten zum Zweck, ihn die Grenze kennen zu lehren, an der er anhalten müsse, wenn die Solidität mit der Kühnheit seiner Constructionen in Uebereinstimmung seyn solle.“ [1])

Die Pfeiler haben 9 Fuß 2 Zoll 10 Linien (9 Meter) Dicke auf 3 Fuß 1 Zoll 2 Linien (1,4 Meter) Länge; zwischen den Parapets ist die Brücke 41 Fuß (13 Meter 34 Centimeter) breit, und die Fahrbahn hat eine Breite von 28 Fuß 9 Zoll (9 Meter 34 Centim.).

Diese Brücke ist mit einem Gesims von sehr schönem Charakter umgeben, das dem der Umfangsmauern des Tempels des Mars Ultor nachgebildet ist.

Zu den drei Arten von Brückenbogen, von denen hier die Rede ist, und welche allein gegenwärtig in Frankreich gebräuchlich sind, läßt

---

1) Es sey uns erlaubt, hier zu bemerken, daß diese Dicke gleichfalls mit derjenigen zusammen fällt, welche wir durch unsere Theorie für Brückenbogen von dieser Oeffnung in der Tabelle des 2. Bandes, S. 120, bestimmt haben.

sich noch die gothische Form hinzufügen, die aus zwei Kreisbogen besteht und unter dem Namen des Spitzbogens bekannt ist. Diese Form würde den Nachtheil haben, die Durchflußöffnung sehr zu vermindern; doch läßt sich diesem Fehler dadurch abhelfen, daß man Brückenaugen in den Stirnmauern anbringt, wie es bei einer der Brücken zu Pavia geschehen ist. Es kann Fälle geben, in denen diese Form ihre Vortheile hat; der Geschmack soll keine Form vorschreiben, weil alle Formen ihre Vorzüge haben, wenn sie schicklich angewendet werden.

Bemerkung.

Es ist nicht möglich, allgemeine Regeln für die Auswahl unter diesen verschiedenen Arten von Brückenbogen zu geben; man muß sich in jedem einzelnen Falle nach den Lokalumständen richten. Die Fläche der Oeffnung, welche der Fluß verlangt, der höchste und tiefste Wasserstand, die Erhebung, welche man der Fläche des Brückenpflasters geben kann, die Rücksicht, daß man bisweilen die Freiheit haben müsse, einen Bogen zu zerstören, und daß mithin die Pfeiler die Widerlager vertreten müssen, liefern die Hauptgründe zur Entscheidung in solchen Fällen. Auch muß die Natur der verwendbaren Materialien und der Grad ihrer Widerstandsfähigkeit erwogen werden.

Von dem Abschlagen der Brückenbogengerüste.

Es war ehemals sehr gebräuchlich, die Wegnahme der Bogengerüste eines Gewölbes damit zu beginnen, daß man ein Schalbret zwischen zwei andern nach seiner ganzen Ausdehnung wegnahm, so daß die Hälfte aller liegen blieb; dann wiederholte man dies Verfahren und ließ demnach noch ein Viertel übrig. Auf diese Weise fuhr man fort, bis man das letzte Schalbret weggenommen hatte. Diese Methode war aber fehlerhaft, weil sich dabei das Gewölbe zwischen den wenigen zuletzt noch vorhandenen und von einander entfernten Unterstützungen stellenweiß mehr oder weniger setzen kann. Es ist vorzuziehen, die Schalbretter zuerst an den Anfängern auf beiden Seiten des Bogens und zuletzt am Scheitel wegzunehmen. Die ersten Bretter können leicht weggenommen werden; allein oberhalb der Bruchstellen und insbesondere nahe am Schlußstein, wo das Gewölbe stark auf

die Lehrbogen drückt, kann es nur dadurch geschehen, daß man die Keile oder Unterlagen nach und nach mit einem Meisel zerstört. Ueberdies hat das entladene Gerüst ein Bestreben, sich zu erheben und hierdurch werden die letzten Schalbretter noch stärker gegen den oberen Theil des Gewölbes gedrückt. Man muß alsdann zur Seite dieser Stücke kleine vertikale, unten zugespitzte, Stützen anbringen, die eine leichte Wegnahme der Bretter gestatten und das Gewicht des Gewölbes tragen. Indem man alsdann, am weitesten von dem Schlußstein entfernt anfangend, die Fläche der Spitze mit dem Meisel kleiner macht, zerbricht man diese Stützen und nimmt sie weg. Diese verschiedenen Vornehmungen müssen an den Gewölbesteinen, welche auf beiden Seiten des Schlußsteins gegen diesen eine symmetrische Lage haben, zugleich ausgeführt werden. Bei Brücken, deren Pfeiler nicht als Widerlager dienen, und deren Bogen ihren Druck gegen einander äußern, muß diese Wegnahme bei allen Bogen zugleich geschehen. Man muß dabei langsam und vorsichtig verfahren, jeden Stoß und Alles vermeiden, wodurch die Masse der Gewölbe einige Geschwindigkeit annehmen könnte.

Das Abschlagen der Gerüste der Brücke zu Nemours geschah, indem man am Fuße der Gerüstsäulen schräge Einschnitte machte und ihre Tiefe nach und nach so lange vermehrte, bis das Gerüst durch sein Niedersinken, sich vom Gewölbe entfernte. Diese Methode geht rascher, als die vorige und kann keinen Unfall veranlassen; allein sie kann nur bei Bogen angewendet werden, die auf aufgebundene Bogengerüste (**cintres retroussés**) gebaut sind. An der Brücke der Militärschule, deren Bogengerüste zum Theil auf Pfählen ruhten, wurde noch ein anderes Verfahren angewendet. Die Pfosten, auf denen die Gebinde ruhten, hatten unten einen Zapfen, der in eine Schwelle ging und die Pfähle dieser Schwelle waren mit Köpfen versehen. Der Zapfen ging nicht durch das ganze Zapfenloch und die Pfosten ruhten hier auf Keilen, die auf den Schwellen lagen. Bei der Wegnahme zerstörte man nun nach und nach diese Keile, so daß der Zapfen tiefer eindrang und die Pfosten unmittelbar auf die Schwelle zu stehen kamen; dadurch senkte sich der Stuhl und die Schalbretter konnten leicht weggenommen werden.

Bei Gelegenheit, als wir im **3.** Band, Seite **187**, von der scharfsinnigen Zusammensetzung der Gerüste sprachen, welche bei der Erbauung der Strand- oder Waterloobrücke gedient haben, sagten wir,

daß das Abschlagen der Bogengerüste vorhergesehen und durch ein Verfahren bewerkstelligt wurde, dessen Verdienst nach unserer Meinung alles übertrifft, was man in dieser Art erdenken kann. Es muß zu den Details, in welche wir uns hinsichtlich der Erbauung dieser Brücke einließen, zuerst noch bemerkt werden, daß jedes Bogengerüst aus acht Gebinden zusammengesetzt war, und vom Niveau des hohen Wasserstandes anfangend eine außerordentliche Verankerung bildete, dessen sämmtliche Theile so aufs innigste mit einander verbunden waren, daß das Ganze mittelst eines einzigen Stücks gehoben und gesenkt, und auf einer besonders dazu erbauten Barke von einem Brückenbogen zum andern gebracht werden konnte. Abgesehen von dem Vortheil, welchen dieses Constructionssystem bei der Wegnahme der Brückengerüste haben mußte, bemerken wir erstens, daß man dadurch der Errichtung eines allgemeinen Bogengerüstes überhoben ist und daß drei einzelne Gerüste zur successiven Erbauung einer aus neun Bogen bestehenden Brücke hinreichen.

Die ganze Zusammensetzung ruhte, wie man dies auf der Tafel **CXXVI** sieht, auf Stützen **E**, die sich ihrerseits wieder auf die Absätze der Pfeilerfundamente stützten. Die Füße der Bogengerüste und die Köpfe jener Stützen endigten sich mit einem starken, außerhalb sägeförmig geschnittenen Holzstück **P**. Diese zwei Stücke nahmen zwischen sich ein anderes keilförmiges Stück **Y** auf, dessen Ausschnitte in umgekehrter Richtung in die sägeförmigen Einschnitte paßten. Die Aufstellung der Gerüste wurde so geleitet, daß sie, wenn sie sich in gehöriger Höhe befanden, auf den vorspringendsten Theilen der Keilausschnitte und der Einschnitte ruhten, so daß es nach Erbauung des Brückenbogens hinreichte, die sechszehn Keile zu gleicher Zeit von außen zurückzustoßen, um die Abrüstung des ganzen Gewölbes auf einmal zu bewerkstelligen.

Uebrigens geschah der Transport und die Aufstellung der Gerüste von Bogen zu Bogen mit der größten Leichtigkeit mittelst des Sinkens und Steigens des Wassers während der Ebbe und Fluth. Die ganze Operation erforderte gewöhnlich acht Tage in der schönen Jahreszeit; fand aber die Fluth an einem Tage zweimal statt, so konnte das Gerüst in vier oder fünf Tagen seine Stelle wechseln. Jedes Gerüst wog ungefähr **320** Tonnen oder etwa **325000** Kilogramme.

Nachträgliche Bemerkungen

zur

Erklärung mehrerer Tafeln.

Beschreibung verschiedener Methoden, von Aelteren und Neueren zur Bewegung, Fortschaffung und Aufziehung ungewöhnlich gestalteter und grosser Blöcke angewendet.

Die unermeßlichen Ruinen der alten ägyptischen Bauwerke bezeugen den Geschmack der Aegypter für alles Große und Dauerhafte. Die bei diesen Werken angewendeten Steine waren von erstaunenswürdiger Größe. Herodot erzählt von einem Gebäude, welches einen Theil des Tempels der Latona zu Buto ausmachte, daß die Mauern aus einem einzigen Stein von vierzig Vorderarmlängen zur Länge und ebenso viel zur Höhe gebildet waren. Die Decke, welche das Gebäude oben schloß, bestand ebenfalls aus einem einzigen Stein, der vier Vorderarmlängen zur Dicke hatte.

An einer andern Stelle erzählt er, daß Amasis ein Gebäude, das aus einem einzigen Steinblock gebildet war, von der Insel Elephantine nach der Stadt Sais, welche von jener zwanzig Schiffstagreisen entfernt ist, bringen ließ. Die äußere Länge dieses Steins betrug **21**, die Breite **14** und die Höhe **8** Vorderarmlängen. Im Innern war die Länge **18 5/6**, die Breite **12** und die Höhe **5** Vorderarmlängen. Es wurden zu diesem Transport zweitausend Menschen während dreier Jahre verwendet.

Die Masse dieses Gebäudes — nach Abzug der Aushöhlung — betrug **1222** Kubik-Vorderarme, und sein Gewicht **440000** Pfund (**208000** Kilogramme) in der Voraussetzung, daß es aus demselben Granit wie die Obelisken bestand.

Was das andere Gebäude betrifft, welches einen Theil des Tempels der Latona zu Buto bildete, so scheint der griechische Text des Herodot zu sagen, daß die vier Mauern aus einem einzigen Stein bestanden, welcher wie ein Trog ausgehöhlt war. In diesem Falle hätte man einen Block nöthig gehabt, dessen Inhalt mehr als **64000** Kubik-Vorderarme und dessen Gewicht **22** Millionen Pfund (**7** Millionen Kilogramme) gewesen wäre. Nimmt man an, daß er erst transportirt wurde, nachdem er ausgehöhlt war, so hätte sein Gewicht noch immer mehr als **9** Millionen Pfund ($4^1/_2$ Millionen Kilogramme) betragen.

Die Fortschaffung einer Masse von solchem Gewicht und von so beträchtlichem Inhalt erscheint uns unbegreiflich schwierig — selbst auf dem Wasser; denn das Wasserfahrzeug hätte eine außerordentliche Größe haben müssen, um eine so ungeheure Last, welche zwanzigmal größer war als diejenige des unter Amasis transportirten Gebäudes, auf dem Wasser zu tragen. Diese bedeutende Masse auszuschiffen und auf dem Lande fortzuschaffen — mußte unüberwindliche Schwierigkeiten darbieten, denn es war nicht möglich, Maschinen und Walzen von der Stärke zu finden, daß sie ohne Zermalmung eine so große Last hätten tragen können. Der Graf von Carbury, welcher mit der Fortschaffung des Felsens zu Petersburg, der nur ein Gewicht von drei Millionen Pfund hatte, beauftragt war, sagt, daß es ihm nicht möglich gewesen wäre, Walzen anzuwenden; die von Eisen selbst waren nicht genügend. Geschmiedete und gegossene eiserne Kugeln, durch welche er jene Walzen ersetzen wollte, wurden ebenfalls abgeplattet und zerdrückt; ebenso auch die Rinnen von demselben Metall, in welcher sich die Kugeln bewegten; nur eine Composition von Kupfer, Zinn und Galmei vermochte zu widerstehen. Da es nun nicht möglich ist, einen Gegenstand in Abrede zu stellen, von welchem Herodot sagt, daß er ihn gesehen und mit Erstaunen untersucht habe; so muß man annehmen, daß die Mauern von jenem Gebäude durch Aushöhlung einer Felsenmasse entstanden sind, welche man an dem Orte selbst gefunden hat. Diese Vermuthung ist um so wahrscheinlicher, als Herodot weder von dem Orte spricht, von welchem dieser ungeheure Steinblock genommen worden ist, noch von der Art seiner Fortschaffung.

In Betreff des Steines, welcher die Decke dieses Gebäudes bildete, ist es klar, daß er von einem andern Block genommen wurde, den

man herbeischaffen und auf die Mauern bringen mußte. Dieser Stein, welcher **40** Vorderarme zur Länge, ebenso viel zur Breite und **4** Vorderarme zur Dicke haben mußte, hatte — ganz behauen — eine Masse von **6400** Kubik-Vorderarme und ein Gewicht von mehr als **1800000** Pfund (**900000** Kilogramme), wenn man ihn von derjenigen mittleren Härte annimmt, welche die Steine haben, die man bei dem größten Theil der Tempel und Pyramidenaufsätze anwendete.

Ein Stein von so großer Breite konnte nicht anders als auf der platten Seite, d. i. in der Lage, welche er auf seinem bestimmten Platz haben sollte, fortgeschafft werden. Zur Ausführung dieser Arbeit bedurfte man einer ebenen und festen Fläche, die eine große Ausdehnung hatte. Da aber das Holz in Aegypten selten ist, so läßt sich vermuthen — nach dem, was Herodot bei Gelegenheit der großen Pyramide von Cheops sagt —, daß es unter diesen außerordentlichen Veranlassungen bei den Aegyptern gebräuchlich war, breite Chausseen und geneigte Ebenen von Hausteinen zu bauen und darauf die ungeheuren Steine fortzuschaffen, deren Anwendung bei Aufführung ihrer Gebäude für sie ein besonderes Verdienst ausmachte. Diese Maßregeln, welche für uns äußerst kostspielig seyn würden, waren für sie weniger erheblich, weil sie bei ihren Werken viele Menschen verwenden konnten, für welche sie wenig im Vergleich des Lohnes unserer Arbeiter zu zahlen hatten, und weil die Materialien sie nichts kosteten.

Waren rohe und abgerundete Granitmassen fortzuschaffen, wie man sie in den Steinbrüchen Aegyptens findet, so wurden dieselben durch Menschenkräfte gerollt oder umgestürzt. Man findet an mehreren Orten, welche sehr entfernt von diesen Steinbrüchen sind, große Granitmassen, deren Transport durch unvorhergesehene Umstände unterbrochen worden zu seyn scheint.

In Betreff der Blöcke, deren Gestalt für diese Art des Fortschaffens nicht geeignet war, und welche ebene Oberflächen hatten — wie der Stein zur Decke des Tempels zu Buto und das Gebäude des Amasis, welches aus einem einzigen Stein bestand —, läßt sich annehmen, daß sie Walzen und Erdwinden gebrauchten, weil diese Maschinen die einfachsten und ältesten sind und weil sie auch die größte und unmittelbarste Wirkung äußern. — Um hiervon einen Begriff zu erhalten, wollen wir das Ergebniß von Versuchen mittheilen, welche in Bezug auf diesen Gegenstand mit einem Hausstein gemacht worden sind, dessen Gewicht ungefähr **1080** Pfund betrug.

Um diesen Stein auf einer horizontalen Ebene, welche aus demselben Material bestand und nur im Groben zugehauen war, fortzubringen, hatte man **758** Pfund nöthig.

Derselbe Stein, auf Holzstücken fortgeschoben, erforderte eine Kraft von **652** Pfund.

Als man ihn, auf Holz gelegt, auf einer Ebene von Holzwerk fortzog, hatte man eine Kraft von **606** Pfund nöthig. Nachdem man aber die beiden Holzflächen, welche auf einander glitten, mit Seife bestrichen hatte, war nur die Wirkung von **182** Pfund nöthig.

Man legte diesen Stein ferner auf Walzen und diese lagen auf einer Fläche von demselben Stein; man gebrauchte zur Bewegung jetzt nur **34** Pfund. Zum Fortrollen des Steines auf Holz hatte man **28** Pfund nöthig, und als die Walzen zwischen zwei Holzflächen gelegt wurden, waren **22** Pfund hinreichend.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß man zum Fortziehen eines rohen Steines auf einem horizontalen, festen und ebenen Boden etwas mehr als zwei Drittel seines Gewichtes nöthig hat; — auf einer Holzfläche drei Fünftel; wenn Holz auf Holz sich bewegt, bedarf man fünf Neuntel; und wenn die beiden gleitenden Holzflächen mit Seife bestrichen sind — nur den sechsten Theil. Wendet man dagegen Walzen an, so ist, wenn sie unmittelbar zwischen dem Boden und Stein liegen, etwas mehr als der zweiunddreißigste Theil des Gewichts nöthig, — und der vierzigste Theil, wenn die Walzen auf Holz liegen; endlich, wenn sie zwischen zwei ebenen Holzflächen liegen, bedarf man nur ungefähr den fünfzigsten Theil des Gewichtes.

Da das Holz unter den großen Lasten zusammengedrückt wird, so ist hier zu bemerken, daß die hölzernen Walzen ihre Gestalt verändern, zerdrückt werden und sich in die Holzunterlagen einsenken. Hierdurch entsteht bei ihrer Anwendung ein Hinderniß, welches um so größer wird, je mehr die Last zunimmt. Als man — wie früher angeführt worden ist — auf dem Petersplatz zu Rom den Obelisken, welcher mit der Rüstung **750000** Pfund wog, aufrichtete, gebrauchte man vierzig Erdwinden, und zum Fortbringen auf einer horizontalen Ebene, indem man zwischen zwei Holzflächen Walzen anwendete, nur vier von diesen Erdwinden. Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß in diesem Falle die Kraft der zehnte Theil des Gewichtes war; dagegen giebt die soeben angeführte Erfahrung etwas mehr als den fünfzigsten Theil. Fontana, welcher mit diesem Geschäft beauftragt war, bemerkt aber auch, daß

mehrere dieser Walzen, deren es sechsundsechzig gab, zerdrückt wurden, und daß sich andere in die Hölzer, zwischen welchen sie lagen, einsenkten.

Um den Vortheil, welchen die Walzen verschaffen können, wirklich zu erhalten, müssen sie selbst, so wie die Ebenen, zwischen denen sie sich bewegen, unpreßbar seyn; wie dies bei Walzen von Granit der Fall ist, welche sich zwischen Ebenen von derselben Materie befinden. Damit sie nicht zerdrückt werden können, muß man sie sehr kurz und in sehr großer Zahl anwenden, wodurch ein geringerer Theil der Last auf jede Walze kommt. Die Länge darf nicht größer seyn als ein- und einhalbmal der Durchmesser. Hätten die Steine eine bedeutende Breite, wie bei dem Stein zur Decke des Tempels zu Buto der Fall war, so müßte man die Walzen in mehrere Reihen legen. Wenn dieses Verfahren anwendbar wäre, so würde es vortheilhafter seyn als die Kugeln, welche der Graf von Carbury bei dem Transport des Granitblockes in Ausübung brachte, der zur Grundlage für die Bildsäule Peters des Großen zu Petersburg diente. Zu diesem Transport wurde eine Kraft erfordert, welche den zweiundzwanzigsten Theil des Gewichts betrug. —

Den Ergebnissen der angeführten Versuche und den Beobachtungen zufolge, zu welchen sie Veranlassung gegeben haben, lassen sich die Kräfte berechnen, die zum Transport der Steine erforderlich gewesen seyn mögen, welche die Decke des Tempels zu Buto und das Gebäude aus einem einzigen Stein zu Sais bildeten.

Die tägliche Erfahrung bei den Arbeiten lehrt uns, daß ein Mann, der von mittlerer Stärke und an Arbeit gewöhnt ist, wie es bei den Alten der Fall war, eine Last gleich seinem eigenen Gewicht tragen kann, — und ziehen eine Last, welche ein- und einhalbmal so schwer ist. Demnach waren bei dem Stein, welcher dem Tempel zu Buto als Decke diente und dessen Gewicht wir auf **1800000** Pfund geschätzt haben, **10000** Menschen nöthig, um ihn auf einem ebenen und festen Boden fortzuziehen; auf einer Ebene, aus Hölzern zubereitet, an **9000** Menschen; und **8333** Menschen, wenn man voraussetzt, daß der Stein auf Holz befestigt und auf einer Holzebene fortgezogen wurde. Hatte man die Vorsorge, die beiden — auf einander gleitenden Holzflächen mit Seife zu bestreichen, so waren nur **2500** Menschen nöthig.

Da dieser Stein **40** Vorderarme zur Breite hatte, so konnte man leicht bei Anstellung der Arbeiter diese in Glieder von **40** in der Fronte ordnen, so daß für den ersten Fall eine Kolonne von **250** Glie-

dern entstand, wenn man diese als gleich voraussetzt; man bedürfte aber viel weniger, wenn man die Reihen divergirend annähme. Für den zweiten Fall entstand eine Kolonne von **225** Gliedern, für den dritten von **208** und für den vierten von **62 1/2** Gliedern. Es war demnach nur dieses letztere Verfahren anwendbar.

Die ungewöhnliche Breite dieses Steines und sein Gewicht mußten die Anwendung von hölzernen Walzen unmöglich machen. Was die Walzen von Granit anbelangt, von denen die Rede war, so würden, wenn man den Boden für ihre Anwendung fest und eben hätte machen können, **300** Menschen oder **7 1/2** Glieder zur Bewegung dieser Last hinreichend gewesen seyn. Aber wir glauben niemals, daß man dieses Verfahren anwendete, indem es zu große Kosten verursacht hätte. Es ist sehr viel wahrscheinlicher, daß man Erdwinden gebrauchte.

Nimmt man eine einfache Erdwinde an, in welcher zwei horizontal liegende Hebel durchgesteckt sind, deren mittlere Länge bis zu dem Orte, wo die Arbeiter angreifen, zehnmal der Durchmesser der Welle ist, so kann jeder an der Maschine angestellte Arbeiter eine Kraftäußerung hervorbringen, welche der Erfahrung zufolge gleich **500** Pfund ist. Setzt man demnach zwölf Arbeiter an einer Erdwinde voraus, so beträgt ihre Kraftäußerung **6000** Pfund. Demnach müßten in dem ersten Falle, bei welchem die Kraft gleich zwei Drittel der Last seyn muß, **2400** Menschen und **200** Erdwinden verwendet werden.

Im zweiten Falle müßten es **2160** Menschen und **180** Erdwinden seyn.

Im dritten Falle gleich **2000** Menschen und **167** Erdwinden.

Endlich im vierten Falle gleich **600** Menschen und **50** Erdwinden.

Wendet man Flaschenzüge an, so ist es gewiß, daß man die Zahl der Menschen und Erdwinden um die Hälfte oder den vierten Theil vermindern kann, wie wir im Anfang dieses Buches gezeigt haben.—

Die soeben gefundenen Resultate geben die Kräfte an, welche zur Bewegung jenes Steines auf einer horizontalen Ebene erforderlich sind. Um jedoch den Stein auf die Mauern des Tempels zu bringen, wo er als Decke dienen sollte, war es nöthig, ihn auf einer geneigten Ebene aufsteigen zu lassen. Es ist aber klar, daß die Kraft größer seyn mußte, wenn die Neigung dieser Ebene größer wurde. — In Bezug auf diesen Gegenstand wollen wir einige Versuche anführen, wodurch wir erfahren, in welchem Verhältniß diese Kraft zunehmen muß.

Legt man auf eine ebene Fläche einen Körper von quadratförmiger Grundfläche und von nicht polirter Oberfläche, so wird die Schwierigkeit für die Bewegung um so größer oder kleiner, je mehr oder weniger rauh die auf einander gelegten Flächen sind. Erhebt man die geneigte Ebene — anstatt jenen Körper durch Druck zu bewegen —, bis dieser zu gleiten anfängt, so findet man, daß ebenso viel Kraft für das Aufziehen eines aufs Vollkommenste polirten oder vielmehr runden Körpers auf dieser geneigten Ebene nöthig ist, als zum Fortziehen des Körpers mit quadratförmiger Grundfläche auf einer horizontalen Ebene. Man findet auch, daß zum Aufziehen eines Körpers mit quadratförmiger Grundfläche auf einer geneigten Ebene eine Kraft angewendet werden muß, welche derjenigen gleich ist, die erfordert wird zum Erheben eines runden oder aufs Vollkommenste polirten Körpers auf einer geneigten Ebene mit ebenso viel Grad über der geneigten Ebene, auf welcher der Körper mit quadratförmiger Grundfläche zu gleiten anfängt, als sich die erstere Ebene über der horizontalen befindet.

Die Kraft, welche das Aufziehen eines runden Körpers auf einer geneigten Ebene bewirkt, ist sehr nahe derjenigen durch die Theorie erhaltenen gleich. Wenn man hiernach die Ebene, auf der ein Körper mit ebener Grundfläche zu gleiten anfängt, als Horizontalplan betrachtet, so findet man die Kraft, durch welche das Aufsteigen dieses Körpers auf einer beliebig geneigten Ebene hervorgebracht wird, wenn man zu dieser Neigung diejenige des als horizontal betrachteten Planes addirt.

Versuche.

Zum Fortziehen eines Würfels von Liaisstein, welcher vier Zoll zur Seite hat und **6** Pfund **4** Unzen wiegt, auf einer horizontal gelegten Platte von demselben Stein ist ein Gewicht von **3** Pfund **5** Unzen nöthig. Dieser Würfel fängt zu gleiten an, wenn die Ebene, auf welchem er liegt, eine Neigung von etwas mehr als **30** Grad angenommen hat. Um einen runden Körper von demselben Gewicht und von derselben Materie wie der erwähnte Würfel auf dieser geneigten Ebene zum Steigen zu bringen, hat man ein Gewicht von **3** Pfund **4** Unzen **2** Quent nöthig. Der Durchmesser des runden Körpers betrug **4**$^1/_4$ Zoll und bewegte sich, indem er rollte.

Um das Aufsteigen des erwähnten Würfels auf dieser Ebene bei derselben Neigung von **30** Grad zu bewirken, ist eine Kraft von

5 Pfund 8 Unzen 2 Quent nöthig, indem man ihre Richtung parallel mit der Ebene annimmt.

Diese Kraft von 5 Pfund 8 Unzen ist auch hinreichend, um den runden Körper auf einer Ebene von 60 Grad zu erheben.

Die Kraft, welche zum Aufziehen des runden Körpers auf Ebenen von 30 und 60 Grad Neigung erfordert wird, ist sehr nahe derjenigen gleich, welche man durch die Anwendung der Lehrsätze der Mechanik erhält. In dem ersten Falle giebt nämlich die Theorie 3 Pfund 2 Unzen und die Erfahrung 3 Pfund 5 Unzen; in dem zweiten Falle die Theorie 5 Pfund 7 Unzen und die Erfahrung 5 Pfund 8 Unzen 2 Quent.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß man die Kraft findet, durch welche das Aufsteigen eines Körpers mit ebener Grundfläche auf einer beliebig geneigten Ebene hervorgebracht wird, indem man zu dieser Neigung diejenige addirt, bei welcher der Körper zu gleiten anfängt. — Wollen wir von dieser Regel eine Anwendung auf den großen Stein zu Buto machen, so nehmen wir die Neigung der Ebene, welche zum Erheben desselben auf die Mauern angewendet wurde, zu 12 Grad an. In der Mechanik wird gelehrt, daß sich die Kraft für das Erheben eines runden Körpers auf einer geneigten Ebene zu seinem Gewicht verhält, gleich wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge, oder gleich wie der Sinus des Neigungswinkels zu dem ganzen Sinus. Da wir nun die Zugkraft für diesen Stein auf einer horizontalen Ebene in dem ersten Fall gleich zwei Drittel seines Gewichts gefunden haben, so entspricht jene derjenigen Kraft, welche erforderlich ist, um einen runden Körper auf einer Ebene von 41 Grad 48 Minuten Neigung zu erheben. Addirt man hierzu 12 Grad, so erhält man den Winkel 53 Grad 48 Minuten, dessen Sinus angiebt, daß man nun vier Fünftel des Gewichtes — statt zwei Drittel — für die Kraft nehmen muß.

Da in dem zweiten Falle die Kraft drei Fünftel des Gewichts ist, so entspricht dieses dem Sinus eines Winkels von 36 Grad 53 Minuten. Hierzu 12 Grad addirt, giebt 48 Grad 53 Minuten, wovon der Sinus drei Viertel des Gewichts anzeigt.

In dem dritten Falle ist die Kraft fünf Neuntel des Gewichtes, welches der Sinus von 33 Grad 45 Minuten ist, und nach der

Addition von **12** Grad erhält man **45** Grad **45** Minuten, wovon der Sinus sieben Achtel des Gewichts angiebt.

Endlich für den vierten Fall, welcher nur ein Sechstel des Gewichtes zur Kraft erfordert, hat man den Sinus von **9** Grad **36** Minuten, und addirt man hierzu die Neigung der schiefen Ebene, so erhält man **21** Grad **36** Minuten, deren Sinus eine Kraft gleich neun Fünfundzwanzigstel angiebt.

Wendet man nun Erdwinden ohne Flaschenzüge an, so sind in dem ersten Falle, um jenen Stein auf einer schiefen Ebene von **12** Grad Neigung aufzuziehen, **240** Erdwinden und **2880** Menschen erforderlich.

In dem zweiten Falle gebraucht man **225** Erdwinden und **2700** Menschen.

In dem dritten **210** Erdwinden und **2520** Menschen.

In dem vierten **108** Erdwinden und **1296** Menschen

Bewerkstelligt man die nämlichen Betrachtungen bei dem Gebäude des Amasis, dessen Gewicht wir zu **440000** Pfund erhalten haben, so ergiebt sich, daß in dem ersten Falle für das Fortziehen desselben auf einer Horizontalebene und ohne Erdwinden **2444** Menschen erforderlich sind. Für den zweiten Fall findet man **2200**, für den dritten **2037** und für den vierten **611** Menschen.

Aus der Beschreibung des Herodot erfährt man, daß zur Fortbewegung jenes Gebäudes das angegebene dritte Verfahren angewendet worden ist, und daß man dabei weder Walzen noch Erdwinden gebraucht hat. Es scheint, das Gebäude ruhte auf einer Ebene von Zimmerholz und wurde auf Holzstücken fortgezogen. — Sehr wahrscheinlich wendete man dasselbe Verfahren beim Transport des Obelisken von Rhamesses an, von welchem Plinius erzählt; es wurden zu demselben **20000** Menschen gebraucht. Dieser Obelisk, welches der dritte auf Tafel **I** ist und auf welchen das Gemälde Bezug hat, möchte **1500000** Pfund wiegen, eingeschlossen das Seilwerk und die Holzrüstung, die nöthig war, um das Brechen desselben wegen seiner großen Länge zu vermeiden. Das Fortschaffen desselben mußte mehr als **7000** Menschen erfordern, ohne diejenigen zu rechnen, durch welche die Wege und Maschinen vorbereitet wurden, so daß im Ganzen **10000** Menschen in Thätigkeit gesetzt seyn konnten, und eine gleiche Zahl zur Ablösung nöthig war.

Tafel CLXVIII.

Beschreibung des Verfahrens bei Fortschaffung des Felsens, welcher der Bildsäule Peters des Grossen zu St. Petersburg als Grundlage dient.

Dieser Steinblock, dessen Grundfläche eben war, hatte **42** Fuß Länge (**13,643** Meter), **27** Fuß Höhe (**8,770** Meter) und **21** Fuß Breite (**6,821** Meter). Ehe er bewegt wurde, brachte man seine Länge auf **37** Fuß (**12,019** Meter), seine Breite auf **21** Fuß (**6,822** Meter) und seine Höhe auf **22** Fuß (**7,146** Meter). Es ist schon erwähnt worden, daß jener Felsen drei Millionen Pfund wog. Von dem Orte, wo er lag, wurde er an das Ufer der Newa, eine Entfernung von **1 1/2** französische Meilen, auf einem starken Rahmen von Zimmerholz gebracht. Dieser Rahmen, welcher ihm als Wagen diente, hatte Aerme oder Seitenhölzer, die aus Balken von **42** Fuß Länge (**13,643** Meter), **18** Zoll Breite (**0,487** Meter) und **16** Zoll Dicke (**0,433** Meter) zusammengesetzt waren. Der auf ihnen ausgehöhlte Kanal hatte ein Beleg von einer Komposition, die aus Kupfer, Zinn und Galmei bestand. Diese Seitenhölzer ruhten auf Unterlagbalken von **33** Fuß Länge (**10,720** Meter), **14** Zoll Breite (**0,378** Meter) und **12** Zoll Dicke (**0,324** Meter), welche eine belegte Rinne hatten wie die vorhergegangenen. Zwischen diesen Hölzern in den Rinnen lagen Kugeln von demselben Metall, **5** Zoll (**0,135** Meter) im Durchmesser habend. Man sehe Figur **1** und das Detail auf Tafel **CLXVIII.**

Die Aerme oder Seitenhölzer des Wagens waren durch vier starke Riegel verbunden, von welchen jeder **14** Fuß Länge (**4,548** Meter) und **12** Zoll im Gevierte (**0,325** Meter) hatte; ferner durch drei starke eiserne Bolzen, welche in den Zwischenräumen angebracht waren. Man hatte sechs Arbeiter nöthig, um jeden der zur Unterlage dienenden Balken herbeizuschaffen. Die Kugeln in den Rinnen waren **2** Fuß von einander entfernt, so daß sich die Last auf **30** bis **32** Kugeln vertheilt befand, wenn alle trugen. Die mit **K** bezeichneten Matten dienten dazu, daß sich Arbeiter darauf setzten, um die Kugeln fortzurollen, welche nicht trugen, während die Last in Bewegung war. Man suchte dadurch die Unbequemlichkeiten zu vermeiden, welche dadurch entstehen würden, wenn mehrere Kugeln zusammenträfen. Zu diesem Zweck waren besondere eiserne Instrumente bestimmt. Obgleich dieses Geschäft gefährlich erscheint, so hat sich doch kein Unfall dabei ereignet.

Diese ungeheure Last lag mitten in Moräſten, aus welchen ſie herausgeſchafft werden mußte. Man wählte die Zeit eines ſehr ſtarken Froſtes. Da man aber Stellen fand, die mit einer Schichte fetten Schlammes bedeckt waren und deßwegen nicht bis zu einer hinreichenden Tiefe feſtfroren, ſo wurde man, um den Boden feſtzumachen, genöthigt, den Schlamm wegzunehmen und an ſeine Stelle abwechſelnd Schichten von Tannenreiſern und Kies zu bringen. Durch die Feuchtigkeit, welche dieſe Schichten durchdrang, entſtand ein Gefrieren von 4 Fuß (1,299 Meter) Tiefe, wodurch eine ſehr feſte — die Laſt tragende Maſſe gebildet wurde. Man gebrauchte ſechs Wochen, um mit derſelben den Weg von ungefähr $1^1/_2$ franzöſiſche Meilen zurückzulegen, welche Strecke ſich zwiſchen dem Ort befand, wo der Stein lag, und dem Ufer der Newa, wo er für den Transport nach St. Petersburg eingeſchifft werden mußte.

Zur Bewegung dieſer Laſt, welche nach dem ſoeben Mitgetheilten zugerüſtet war, auf einem beinahe horizontalen Boden hatte man nur zwei Erdwinden nöthig, wovon jede, um ſie in Thätigkeit zu ſetzen, 32 Arbeiter bedurfte. Dieſe Erdwinden waren mit 8 Stangen verſehen, jede von 8 Fuß Länge (2,599 Meter), von der Mitte der Welle an gerechnet. Die Arbeiter waren daran auf die Art angeſtellt, daß der Mittelpunkt der Kraft, mit welcher ſie wirkten, 5 Fuß (1,624 Meter) von jener Mitte entfernt war. Dieſe Kraft, welche für jeden Arbeiter zu 50 Pfund (24,475 Kilogramme) angeſchlagen werden kann, betrug 1600 Pfund (783,209 Kilogramme) für die 32 Arbeiter. Bei jeder Umdrehung der Welle legte der Mittelpunkt des Druckes einen Weg von $31^3/_7$ Fuß (10,209 Meter) zurück; dagegen betrug die Taulänge, welche ſich um die Welle wickelte, $4^5/_7$ Fuß (1,531 Meter).

Das Tau war nicht unmittelbar an die Laſt befeſtigt, ſondern es ſtand mit Flaſchen in Verbindung, wovon jede mit drei Rollen verſehen war, ſo daß die Laſt nur den ſechsten Theil des Weges von dem Taufück zurücklegte, welches ſich auf der Welle aufwickelte, alſo nur $9^3/_7$ Zoll (0,252 Meter). Wenn daher der von der Kraft zurückgelegte Weg 10,209 Meter betrug, ſo bewegte ſich die Laſt nur um 0,252 Meter vorwärts; ſie legte alſo nur den vierzigſten Theil des Weges der Kraft zurück. Da in der Mechanik gelehrt wird, daß die bewegenden Kräfte im umgekehrten Verhältniß zu den durchlaufenen Wegen ſtehen, ſo ergiebt ſich daraus, daß die Kraft, welche jene Laſt unmittelbar in Bewegung ſetzte, gleich dem Vierzigfachen der Kraft

seyn mußte, die von den Arbeitern an den beiden Erdwinden ausgeübt wurde, also **128000** Pfund (**62656** Kilogramme). Diese Kraft ist $^2/_{47}$ des Gewichtes der Last, statt $^1/_{50}$, welches sich aus den Versuchen ergab, die über diesen Gegenstand mit einer Last angestellt worden waren; diese Last aber hatte kein so beträchtliches Gewicht, daß sie die härtesten Stoffe, wie die in Rede stehenden, zusammendrückte.

Wer Gelegenheit hatte, große Lasten fortzuschaffen, wird eingestehen, daß die einfachen und sinnreichen Mittel, welche zur Bewegung einer so schweren Masse (deren Gewicht — so zu sagen — über die Existenz von Stoffen zum Tragen derselben während der Bewegung hinausgeht) angewendet worden sind, viele Kenntnisse und Hülfsquellen bei Demjenigen in Anspruch nahmen, welcher sie ersonnen hat.

Maschine zum Drehen des Felsens.

Da die Lage des Felsens nicht gestattete, ihn in gerader Linie von dem Orte, wo er lag, bis zum Ufer fortzubewegen, so war man zur Fertigung einer Maschine genöthigt, mittelst welcher man ihn drehen konnte, um die Richtung des Weges zu ändern. Sie ist durch **A** in den Figuren **2** und **3** angegeben.

Sie war durchaus so wie diejenige, welche zum Fortschreiten in gerader Linie diente; nur war sie stärker. Die Balken und Rinnen dieser zweiten Maschine hatten die Kreisform, wie man es in den Figuren **2** und **3** sieht, so daß sich die äußeren Theile des Felsens (Figur **2**) bewegten, während die Mitte festblieb. Die kreisförmige Maschine ist in dieser Figur durch die punktirten Linien unter der Felsmasse angedeutet. Der Kreis hatte **12** Fuß im Durchmesser (**3,898** Meter); die Balken, welche ihn bildeten, waren **18** Zoll (**0,437** Meter) im Gevierte dick, und die Rinne von Metall hatte auf dem Grund eine Dicke von $8^1/_2$ Zoll (**0,095** Meter); **15** Kugeln trugen den Felsen auf dieser Maschine.

Anwendung der Schrauben zum Heben des Felsens.

Das Erste, was man vornehmen mußte, nachdem man sich zum Fortschaffen des Felsens entschlossen hatte, war, denselben etwas zu heben, um statt der Bettung, auf welcher er lag', den Rahmen unter ihn zu setzen, auf welchem er fortgezogen werden konnte.

Es war um so wichtiger, dieses Geschäft auf eine einfache Art auszuführen, da es so oft vorkam, als es nöthig war, mit dem Felsen

die Richtung des Weges zu verändern, wobei für den Rahmen, der zum Geradeausgehen bestimmt war, die Vorrichtung angebracht werden mußte, welche bloß den Zweck des Drehens hatte.

Es wurden zu dem Ende Schrauben gefertigt, wie sie die Figuren **B** darstellen. Jede dieser Schrauben bewegte sich in einer metallenen Mutter **e**, welche auf einem harten Holzblock **R** lag, der durch zwei eiserne Ringe und durch zwei Bolzen verstärkt war; oben trug sie eine ebenfalls metallene Kappe **t**. Hatte man die Schrauben unter den Felsen gebracht und bewegte die durch den Kopf derselben gehenden Hebel nach der einen oder andern Richtung hin, so erhob oder senkte sich der Felsen mit der Umdrehung der Schrauben, wie man es in Figur **3** sehen kann. Diese Schrauben wurden unter den Felsen außerhalb des Rahmens gestellt, so daß man leicht anstatt dessen die kreisförmige Maschine, von welcher die Rede war, anbringen konnte.

Diese Schrauben übten eine solche Kraft aus, daß ihrer nur **12** nöthig waren, den Felsen zu tragen.

Vorbereitungen zum Einschiffen des Felsens, und Schwierigkeiten, auf welche man beim Beginn der Unternehmung stieß.

Zur Fortschaffung des Felsens auf dem Weg, welchen er auf der Newa zurücklegen mußte, ließ man ein Fahrzeug **LL**, Figur **4**, erbauen und gab demselben **180** Fuß (**58,471** Meter) Länge, **66** Fuß (**21,439** Meter) Breite und **17** Fuß (**5,522** Meter) Höhe. Es war mit einer dreifachen Lage von Balken im Boden versehen, und in der Mitte erhob sich ein Gerüst. Man könnte jene Abmessungen für eine Last von drei Millionen Pfund für zu groß halten, wenn man einsieht, daß das Fahrzeug beinahe das Doppelte tragen würde. Aber es ist hier zu bemerken, daß an mehreren — nothwendig zu passirenden Stellen die Newa nur ungefähr **8** Fuß (**2,599** Meter) Wassertiefe hatte. Man mußte demnach das Fahrzeug so einrichten, daß es nicht tiefer im Wasser ging, um dem Stranden nicht ausgesetzt zu seyn.

Was die ihm gegebene Höhe anbelangt, so wurde sie durch Folgendes nothwendig. — Die Wassertiefe von dem Rand des Wehrdammes bis auf den Grund betrug **11** Fuß. Das Fahrzeug ging zwar nur ungefähr **8** Fuß (**2,599** Meter) tief im Wasser; um aber dasselbe zu belasten, war es nöthig, den Boden so zu unterstützen, daß sich die eine Seite nicht erheben konnte, wenn sich die andere

senkte. Ohne dieſe Vorſicht würde ſich dieſe eine Seite, während der Felsblock auf die andere gebracht worden wäre, ſo erhoben haben, daß das Fahrzeug das Gleichgewicht verloren hätte und der Block zwiſchen daſſelbe und den Damm gefallen wäre. Es war demnach nöthig, daß ſich das Fahrzeug auf den Grund des Waſſers ſetzte, um den Felſen auf daſſelbe bringen zu können, ohne daß es umſchlug.

Die mit der Einſchiffung Beauftragten ließen die Barke mit Waſſer anfüllen und brachten ſie dadurch zum Aufſitzen auf den Grund. Da ſich der Damm **11** Fuß (**3,573** Meter) tief im Waſſer befand und **3** Fuß über die Oberfläche erhob, und da die Seiten der Barke **17** Fuß (**5,522** Meter) hoch waren, obgleich die Bettung oder das Gerüſt nur **14** Fuß (**4,548** Meter) Höhe hatte, ſo öffnete man die Barke auf der Seite, wo der Felſen eingebracht werden ſollte; und da Bettung und Damm genau gleich hoch waren, ſo konnte man den Felſen auf einer horizontalen Fläche fortſchaffen und ihn auf die Mitte der Bettung durch zwei Winden bringen, welche man in dem Schiffe aufgeſtellt hatte. Sobald er hier angelangt war, ſtellte man die Seite der Barke wieder her, die man geöffnet hatte, und kalfaterte ſorgfältig dieſen ganzen Theil.

Nachdem dieſes ausgeführt war, fing man damit an, das Waſſer in der Barke durch Eimer und Pumpen auszuleeren. Während der Beſchäftigung hiermit bemerkte man mit ebenſo viel Ueberraſchung als peinlicher Verlegenheit, daß ſich nicht alle Theile der Barke gleichermaßen erhoben. Die zu ſtark beladene Mitte blieb auf dem Grund des Fluſſes, nur das Hinter- und Vordertheil erhoben ſich. Die Barke erhielt dadurch eine gekrümmte Geſtalt, wie dieſelbe durch **CC**, Fig. **4**, dargeſtellt iſt. Durch die Krümmung erlitten die Balken und Bohlen der Barke eine Spannung, welche eine Trennung der Theile herbeiführte, wodurch das Waſſer in großer Menge wieder einzudringen begann. Es wurden bis zu **400** Menſchen angeſtellt, um das Waſſer ſchneller auszuſchöpfen; aber je mehr ſich die in der Barke enthaltene Waſſermenge verringerte, deſto größer wurde die nachtheilige Wirkung. Die Barke nahm endlich die Geſtalt eines ſo ſtarken Bogens an, daß man ihr völliges Auseinanderreißen befürchtete.

Mittel, welche zur Herſtellung der urſprünglichen Geſtalt der Barke angewendet wurden.

Man verbrauchte zwei Wochen zu unnützen Verſuchen, den der Barke widerfahrenen Unfall wieder gut zu machen. Da der Monat

September Stürme herbeigeführt hatte, welche das Versinken des Felsens in die Bucht befürchten ließen und Niemand weitere Mittel angab, den Unfall zu beseitigen, so wurde der Graf von Carbury beauftragt, den Felsen wieder auf den Damm zurückzubringen.

„Jetzt war es (sagt er), wo ich meine Ideen über die Herstellung der ursprünglichen Gestalt der Barke in Ausführung zu bringen suchte, ohne daß es nöthig war, den Felsen auf den Damm zurückzuschaffen. Ich bemerkte gleich im Anfang, daß die Barke ihre ursprüngliche Gestalt blos deßwegen verloren hatte, weil die ganze Last nur auf ihre Mitte wirkte, und daß es zur Hebung dieses Mißstandes nur erforderlich wäre, die Last auf alle Theile der Barke gleichermaßen zu vertheilen. Zuerst ließ ich das Vorder- und Hintertheil durch Steine belasten und erlangte dadurch, daß sich dieselben von Neuem auf den Grund des Wassers aufsetzten.»

„Was ich vorausgesehen hatte, ereignete sich. Nachdem die Hölzer ihre erste Lage wieder eingenommen hatten, verstopften sich die Oeffnungen, durch welche das Wasser eindrang, beinahe völlig, und nachdem das Wasser aus der Barke geschöpft war, bog sie sich nicht mehr, sondern erhob sich ein wenig in der Mitte und auch an den andern Theilen. Es war also jetzt nur erforderlich, die Last auf die ganze Grundfläche der Barke zu vertheilen. Um dieses zu bewerkstelligen, erhob ich den Felsen mittelst der Schrauben um **6** Zoll über den Rahmen, auf welchem er lag. Ich brachte ferner auf jeder Seite Streben **BB**, Figur **4**, an, welche sich mit dem einen Ende an Einschnitte in dem Felsen stützten und mit dem andern an starke Unterlagen, die auf dem Boden der Barke befestigt waren.»

„Diese Streben nahmen in der Länge stufenweise ab, so daß sie sich auf der ganzen Grundfläche der Barke verbreiteten. Zur Verbindung derselben unter einander, brachte ich Holzstücke **PP** an, welche nach Anweisung der Figur angeordnet und durch eiserne Kreuze befestigt waren. Nach dieser Vorbereitung ließ ich die den Felsen über dem Rahmen haltenden Schrauben wegnehmen, und nachdem sich der Felsen gesenkt hatte, vertheilte sich sein Gewicht auf die Streben und auf die ganze Grundfläche der Barke.»

„Nach Beendigung dieser Arbeit schöpfte man das Wasser völlig aus der Barke. Ich ließ ferner alle — auf Vorder- und Hintertheil **DD** aufgehäuften Steine wegnehmen, und die Barke erhob sich und behielt vollkommen ihre Gestalt.»

Tafel CLXVIII bis.

Brief des Verfassers an den Herrn Grafen von Angivillers in Bezug auf die Versetzung der Gruppen von Monte-Cavallo.

„Herr Graf!

„Gegenwärtig bin ich damit beschäftigt, das über den Friedenstempel Ausgearbeitete ins Reine zu bringen. Ich habe die Hauptmaße desselben noch einmal aufgenommen, weil ich bemerkte, daß der Plan, welchen ich besaß und nach welchem ich die Ehre hatte, Ihnen einige Vergleichungen mit dem Invalidenhotel vorzulegen, nicht richtig war. Aus den von mir aufgenommenen Maßen, welche ich auch mit den antiken Monumenten von Desgodets zusammengestellt habe, geht hervor, daß die Widerlager nur den achten Theil der freien Grundfläche bilden. Ich untersuchte mit der größten Aufmerksamkeit die Art der Erbauung dieses Tempels und verglich das Gesehene mit demjenigen, was Vitruv und Plinius über die Bauart der alten Römer mittheilen. Ich habe in den alten Ueberresten drei verschiedene Arten des Bauens unterschieden. Die ältesten Ruinen sind fast durchaus ins Kreuz oder rautenförmig ausgeführte Werke; bei der zweiten Art sind große Steine ohne Mörtel nur durch bronzene Klammern mit einander verbunden; bei der dritten Art bestehen die Häupter der Mauern aus Backsteinen, die Füllwerke aber aus kleinen Bruchsteinen. Die Gewölbe sind durchgehends in Kasten mit allen Arten von Steinabfällen (von Marmor, Backsteinen und Ziegeln) und mit Mörtel ausgeführt und gestampft. Ich untersuchte ebenfalls das Cement, welches zu den Wasserleitungen und Wasserbehältern angewendet wurde, und verglich auch den Stuck mit demjenigen, welcher heutzutage gefertigt wird.“

„Ich habe meine Arbeit unterbrochen, um Ihnen eine Idee von den Vorbereitungen zu überschicken, welche man zur Drehung der Gruppen von Monte-Cavallo vor dem Pallast des Papstes ausgeführt hat. Seit vierzehn Tagen versuchte man diese Arbeit, aber sie gelang nicht, weil der Architekt nicht verstand, alle seine Kräfte gut anzubringen. Er hat jedoch seither fortgearbeitet, und gestern ist er zu seiner Ehre an das Ziel gelangt. — Diese Gruppe besteht aus einer kolossalen Figur von Marmor, welche ein Pferd zu bändigen scheint. Sie befindet sich auf einem Fußgestell von ungefähr 12 Fuß nach

allen Abmessungen, und dieses Fußgestell hat zum Füllwerk das Bruchsteingemäuer und zur Bekleidung den Marmor. Das Ganze kann einen Inhalt von ungefähr **2000** Kubikfuß haben und **320000** Pfund mit der Rüstung zum Drehen wiegen.»

„Das bei der Drehung angewendete Verfahren ist sehr einfach. Man fing damit an, das Fußgestell in zwei Richtungen seiner ganzen Dicke nach zu durchbrechen, wie es in **A**, Figur **1**, bezeichnet ist. Hierauf bildete man ein Kreuz aus Balken von **9** bis **10** Zoll Dicke. Jeder Arm dieses Kreuzes bestand aus vier Balkenlagen und in jeder Lage aus vier Balken. Zwei Lagen dieser Balken gingen durch das Fußgestell in seiner ganzen Dicke, die beiden andern stießen an diejenigen, welche in der andern Richtung durch das Gestell gingen. Auf diese Art sind an jedem Ende dieser Querarme **16** Balken sichtbar, wie es die Figur **2** in **B** darstellt. In der Mitte dieses Kreuzes unten war ein starker eiserner Drehzapfen von **3** Zoll Durchmesser angebracht. Als man sich des Kreuzes unter dem Fußgestell versichert hatte, wurden die durch **c**, **d**, **e** und **f**, Figur **3**, bezeichneten Mauerstücke weggehauen. Zuvor hatte man die in Figur **2** dargestellte Einfassung bewerkstelligt, um Brüche an dem Fußgestell zu verhüten. Als sich die ganze Last des Fußgestelles auf dem Kreuz befand, bogen sich die Arme um **2** Zoll, der Drehzapfen senkte sich in den Stein, welcher ihm als Pfanne diente, und man bemühte sich während vierzehn Tagen vergebens, das Fußgestell durch vier Erdwinden zu bewegen; man zerbrach zwei Kabeltaue, ohne die geringste Bewegung hervorzubringen. Nachdem der Architekt seine Maschine von Neuem ausgerüstet und in allen Theilen verstärkt hatte, gelang er gestern an das Ziel. Er gebrauchte aber — statt **4** Erdwinden — deren **8** mit Flaschenzügen, und **12** Arbeiter an jeder Winde. Die Maschine war jetzt sehr gut. Mit vier Unterbrechungen wurde ein Achtel der Umdrehung des Fußgestelles in weniger als drei Stunden Zeit trotz der bedeutenden Reibung bewerkstelligt.“

»Ich hege die Hoffnung, Herr Graf, daß Sie mir Ihre Gunst fortwährend erhalten wollen. Bei nächster Gelegenheit werde ich mich bemühen, Ihnen einen interessanteren Gegenstand mitzutheilen. Ich hätte gewünscht, zur Beendigung der Zeichnung, welche ich Ihnen überschicke, Zeit zu haben; aber ich stellte mir vor, daß Sie nicht ungehalten seyn würden, wenn Sie sogleich von einer Arbeit, welche nicht gewöhnlich ist, Nachricht erhielten.“

„Ich habe die Ehre, Herr Graf, mit dem tiefsten Respect zu seyn

Ihr

ganz gehorsamer Diener

Rom, den 3. Sept. 1783. Rondelet.“

Tafel CLXIX.

Beschreibung der Maschinen, welche zum Herbeischaffen und Heben der zwei grossen Steine des Frontons am Louvre angewendet wurden.

„Diese Steine (sagt der gelehrte Perrault in den Anmerkungen zu seiner Uebersetzung des Vitruv), welche mehr als **80000** Pfund wogen, waren wegen ihres Gewichtes nicht so schwierig zu erheben, aber wegen ihrer Gestalt, die ein Brechen leicht veranlassen konnte, wenn sie nicht gleichmäßig unterstützt wurden; denn sie hatten bei **52** Fuß Länge und **8** Fuß Breite nur **18** Zoll Dicke.

Um diesen Bruch zu verhüten sowohl bei ihrer Herbeischaffung aus dem Steinbruch, welcher sich auf dem Gebirge Meudon, zwei französische Meilen von Paris, befindet, als auch bei ihrer Erhebung und Versetzung, welche nahe an **20** Toisen von dem Erdgeschoß stattfand, — beobachtete man die Vorsichtsmaßregel, daß man an dem Stein der Länge nach eine Holzverbindung anbrachte, die zu größerer Festigkeit aus dicken Hölzern bestand und so wenig als möglich ein Biegen zuließ. Wenn nämlich der Stein auf diese Art umgeben und an acht Stellen auf jeder Seite durch Taue aufgehängt war, so konnte er sich nicht biegen, welche Wirkung diese außerordentliche Last auch hervorbrachte, sobald die Holzverbindung, welche ihn umschloß und mit deren Hülfe man ihn bewegte, sich hinreichend stark gegen dieses Biegen zeigte. — Zum Aufbringen auf die nöthige Höhe und zum Versetzen daselbst konnte man nicht die Holzverbindung gebrauchen, deren man sich zum Herbeiführen bediente, sondern man errichtete eine Wand von Zimmerwerk längs der Fronte des Louvre bis zu einer Höhe von mehr als **20** Toisen. Auf dieses Gerüst legte man eine Holzdecke, welche von sechs Balken getragen wurde, zwischen denen die Taue zum Aufziehen des Steines durchgehen konnten. Auf dieser Decke

selbst befanden sich acht Wellen, durch welche mittelst Hebebäume, die man mit ihrem Ende einsteckte, die Taue zum Aufziehen des Steines angezogen wurden. Nachdem derselbe etwas höher als der Ort, wo er versetzt werden sollte, geschafft worden war, brachte man ihn mit der ganzen Maschine über diese Stelle. Dieses wurde ausgeführt, indem man den oberen Theil der Decke, welcher auf besonderen Walzen lief, bewegte.

„Eine Schwierigkeit bestand darin, daß die den Stein aufziehenden Taue stets gleichmäßig angezogen waren; denn man konnte nicht sicher seyn, daß Wellen und Taue in dem Grad von gleicher Dicke seyen, daß die Taue — so sorgfältig man auch an den Wellen zusammenwirkte — stets ganz gleichmäßig anziehen und daß nicht bisweilen die einen locker während die andern straff angezogen seyn würden. Hierzu kommt noch, daß diese Taue — zwar von gleicher Dicke — sich verschieden zusammendrücken und verlängern konnten. Um diesem Uebel zu begegnen, befand sich der Meister auf dem Stein, während er gehoben wurde, und ging auf demselben wie auf einer Gallerie hin und her, um die Taue nach einander zu berühren und dadurch zu erkennen, welches von denselben mehr angezogen war als die andern. Er ließ alsdann die Welle, an welcher dieses Tau befestigt war, anhalten und die andern unterdessen zu wirken fortfahren. Zu dem Ende hatte jede der Wellen ihren besonderen Namen, und es wurde der Befehl gegeben, ein allgemeines Stillschweigen zu beobachten, damit die Commandos gehört werden konnten. — Man hätte vielleicht einige dieser Vorsichtsmaßregeln weglassen dürfen; aber man glaubte, einen so wichtigen Gegenstand nicht mit genug Umsicht behandeln zu können.»

Erklärung der Tafel CLXIX, nach Perrault.

Figur 1 zeigt die Maschine, welche zum Herbeiführen des Steins gebraucht wurde. **AABB** ist eine große Holzverbindung nach der Länge des Steins.

CC ist der von dem Holzgestell umschlossene Stein, welcher an acht — durch **AA**... bezeichneten Stellen aufgehängt war.

ΔΔ ist eine Decke des Holzgestelles, auf welcher sich acht — durch Hebebäume bewegte Wellen befanden.

ΓΓ ist ein Schlitten, auf dem der Stein seiner Länge nach lag. Dieser Schlitten hatte an jeder der acht Stellen, an denen er aufgehängt war, zwei Vertiefungen, in welchen sich Rollen befanden. In

dem oberen Theil des Holzgestelles unweit der durch A bezeichneten Stellen waren ebenfalls Vertiefungen, von denen jede eine Rolle aufnahm. In der Nähe jeder dieser Rollen hatte man das Tau befestigt, welches, über eine der untern Rollen gehend, wieder aufstieg, über die obere Rolle gezogen wurde und dann nochmals niederging, um endlich, über die andere Rolle des Schlittens geschlungen, durch die Decke gezogen und an die Welle befestigt zu werden. Die so oft wiederholten Umschlingungen des Taues dienten zur Kraftvermehrung desselben und zur Verminderung der Schnelligkeit beim Aufziehen; es war aber doch wegen seiner — durch mehrmaliges Umbiegen vergrößerten Länge in einen kleinen Raum gebracht.

DD sind die Enden der beiden Achsen, auf welchen das Holzgestell befestigt war.

EE sind die beiden kleinern Vorrichtungen, auf welchen sich die Achsen befanden und welche als Räder dienten.

FGF zeigt eine der Achsen für sich und den untern Theil nach oben gekehrt.

FF sind zwei abgerundete Einschnitte in der Achse, mittelst deren sie in der Rädervorrichtung lag.

HIKIH ist eine getrennt dargestellte Seite dieser Vorrichtung.

II sind zwei Zapfenlöcher zur Aufnahme der Zapfen von Hölzern, welche nebst den Seitenstücken jene Vorrichtung bildeten.

K ist ein Ausschnitt, in welchem der abgerundete Einschnitt der Achse sein Lager hatte.

HH sind zwei andere Ausschnitte, mittelst deren die Vorrichtung auf den durch **NN** bezeichneten Walzen ruhte.

LML ist eine der Walzen für sich dargestellt.

LL sind Einschnitte, in welchen die Seitenstücke durch ihre Ausschnitte **HH** auf den Walzen festgehalten wurden. — Es ist zu bemerken, daß diese Walzen mit eisernen Ringen umgeben waren, die ihre Befestigung durch Nägel mit spitzigen Köpfen erhielten, sowohl um dadurch das Ausgleiten dieser Walzen auf den Bohlen, womit der Weg von den Fahrzeugen bis an den Fuß der Mauer belegt war, zu vermeiden, als auch zum Fortbewegen der Maschine außer durch mehrere Winden, an deren jeder acht Mann angestellt waren. Auf jeder Seite befanden sich nämlich vier große Hebebäume, welche mit dem einen Ende in die Walzen gesteckt waren und an dem oberen Ende eine Rolle hatten, über welche ein an dem untern Theil des

Holzgestells befestigtes Seil geschlungen war, das an dem andern Ende von zwei und drei Arbeitern angezogen wurde. Es ergab sich hieraus, daß die Walzen, welche durch die Nägel am Abgleiten auf den Bohlen verhindert wurden, nur bewegt werden konnten, um die ganze Maschine vorwärts zu bringen. —

Figur 2 zeigt die Maschine, welche beim Aufziehen und Versetzen des Steins gebraucht wurde.

AA ist der Stein.

BB ist derselbe Schlitten, auf welchem er bei der ersten Maschine lag; hier aber befindet er sich auf dem Stein und ist an Stellen durch Taue an demselben befestigt.

CC ist ein anderer Schlitten, einerlei mit dem oberen — durch **AA** bezeichneten Theil des großen Gestelles der ersten Maschine und ebenfalls mit Einlassungen und Rollen versehen. Die Taue sind auch hier befestigt, gehen nach untern und obern Rollen hin und her, und werden endlich an die Wellen geschlungen, welche sich ebenfalls — wie bei der ersten Maschine — auf einer Decke befinden.

DD sind vier Balken, welche den obern Schlitten tragen.

EE sind die Walzen, auf denen diese Balken liegen.

FF sind andere Balken, auf welchen sich die Walzen bewegen können.

Als der Stein etwas über den Ort erhoben war, wo er versetzt werden sollte, bewegte man jene Walzen gegen diesen Ort hin. Dadurch wurde die ganze Decke, auf welcher die Wellen lagen, und folglich auch der daran aufgehängte Stein, über den Ort gebracht, wo dieser versetzt werden sollte. Man senkte ihn hier nieder, indem man an den Wellen nachließ. Zur Versetzung des Steins verbreitete man eine Mörtelschichte, welche etwas dicker war als die Taue, mit denen man den Stein an den Schlitten befestigt hatte. Wurde der Stein durch den Mörtel unterstützt, so war man nun im Stande, die Taue wegzunehmen. Hierauf senkte sich der Stein allmählig, und der Ueberfluß an Mörtel trat wieder hervor, bis seine Dicke nur die einer gewöhnlichen Fuge war.

Tafel CLXX.

Die Geschichte hat uns nichts in Bezug auf die von den Aegyptern zur Aufrichtung ihrer Obelisken angewendeten Mittel überliefert. Man kennt ebenfalls das Verfahren nicht, welches die alten Römer zur Aufrichtung derjenigen ins Werk setzten, die von ihnen nach Italien gebracht wurden. Der Mangel auch nur einer Anzeige über diesen Gegenstand leitet auf den Gedanken, nach Scammozzi, daß jene Arbeiten — wenigstens bei den Letztern — keine so bedeutende Zurüstung mit sich führten, wie dies bei derjenigen von D. Fontana für den Obelisken des St. Peters zu Rom angewendeten der Fall war. Die einzigen Urkunden, welche auf uns gelangt sind, gehen nicht über den Verfall des Reichs hinaus. Die eine von ihnen, die Beschreibung des Ammian Marcellinus in Bezug auf den Transport und die Aufrichtung des Obelisken auf dem großen Circus zu Rom zur Zeit des Kaisers Konstanz, kann nur als ein weiterer Zeuge des Verfalls der Kunst in dieser Periode angesehen werden. Uebrigens möge hier stehen, wie dieser Schriftsteller von allen den Arbeiten, welche bei jenem Unternehmen stattfanden, im 4. Kapitel des 17. Buches Rechenschaft giebt.

„Nachdem der Obelisk von seiner Stelle weggenommen war, blieb er während der ganzen Zeit liegen, die man zu den Vorbereitungen für den Transport nöthig hatte. Man führte ihn alsdann auf dem Nil bis Alexandrien, wo man ein Schiff von einer damals unerhörten Größe baute; dreihundert Ruder waren zu seiner Bewegung erforderlich. Als die Vorbereitungen vollendet waren, wurde durch den Tod des Kaisers Konstantin die Ausführung dieses Unternehmens unterbrochen. Lange Zeit hierauf belastete man das Fahrzeug, fuhr über das Meer und durch die Tiber, und gelangte an das Städtchen Alexander, drei französische Meilen von Rom entfernt. Hier wurde der Obelisk auf einen Schlitten von eigenthümlicher Construction gebracht und vorsichtig durch den Hafen von Ostia und den öffentlichen Fischteich bis zu dem großen Circus geführt. — Es blieb nur noch das Aufrichten übrig, welches man kaum für möglich hielt. Nachdem man — nicht ohne Gefahr — hohe Bäume errichtet hatte, deren Menge einem Walde glich, befestigte man daran lange und dicke Taue, welche wie ein Gewebe in einander geschlungen waren und durch ihre Masse den Anblick des Himmels

entzogen. Mittelst dieser mechanischen Einrichtung wurde diese Masse (um nicht zu sagen: dieser mit Sinnbildern ausgestattete Berg) allmählig erhoben, und — nachdem der Obelisk lange Zeit mit Hülfe von mehreren tausend Menschen, welche Mühlsteine zu drehen schienen, hängend erhalten worden war — stellte man ihn mitten auf den großen Circus; auf seine Spitze setzte man eine mit Goldblättchen belegte metallene Kugel. Nachdem diese aber der Blitz getroffen hatte, ersetzte man sie durch das Bild einer leuchtenden — ebenfalls metallenen Flamme, die gleichfalls mit Goldblättchen belegt war, deren Glanz den einer angezündeten Fackel nachahmte.»

Man erkennt leicht, daß die hier beschriebene Maschine keine andere ist als der Trispastos, welchen Vitruv im **3**. Kapitel des **10**. Buchs beschreibt. Wir haben schon erwähnt (Seite **516** im **1**. Band), daß der Obelisk zu Arles mit der größten Leichtigkeit durch ein ähnliches Verfahren aufgerichtet worden ist. War jedoch das Prinzip dieser mechanischen Einrichtung recht geeignet zum Erheben einer Last von **2000** Centner, so konnte es gefahrbringend seyn beim Aufrichten einer Masse von **983000** Pfund. Uebrigens hätte die Mechanik Mittel bieten können, welche viel einfacher gewesen wären.

In Bezug auf das Basrelief, welches auf der Grundfläche des Obelisken von Konstantinopel, dessen schon im ersten Buch Erwähnung geschehen ist, eingehauen war, leitet uns eine genauere Untersuchung auf die Annahme, daß es sich nur um die Fortschaffung nicht um die Aufrichtung dieses Obelisken handelte. Dieses ist wenigstens die Vorstellung, welche man aus den Kopien entnehmen kann, die uns Reisende davon gegeben haben.

Seit dem Kaiser Theodosius, unter dessen Regierung die Aufrichtung dieses letztern Obelisken statthatte, gab es kein Monument dieser Art, bei welchem eine Versetzung vorgenommen wurde — bis zu dem Zeitpunkt, wo sie von den Barbaren umgestürzt worden sind. Erst in der Mitte des sechzehnten Jahrhunderts begann der Geschmack an den Künsten, die Bewunderung für solche schwierige Unternehmungen zu erwecken. Scammozzi, der Zeuge von den ersten Versuchen war, durch welche die Auffassung dieser Unternehmung angefacht wurde, giebt davon eine Beschreibung, die in der Geschichte der Architektur eine Stelle verdient. Im Nachfolgenden werde mitgetheilt, wie er sich hierüber im **19**. Kapitel des **8**. Buches seiner allgemeinen Architektur ausdrückt.

„Die Obelisken Rom's — größtentheils bei den Einfällen der Fremden umgestürzt und zerbrochen, und bei den verschiedenen Feuersbrünsten, durch welche diese Stadt betroffen wurde — blieben lange unter den Ruinen der ehemaligen Stadt verschüttet. Der Obelisk auf dem Circus des Nero blieb allein — wahrscheinlich durch die Nachbarschaft der Peterskirche, oder vielleicht durch die geringe Ausdehnung des Platzes, welcher ihn umschloß — bei den so häufigen Verwüstungen stehen. Gegen das Ende des letzteren Jahrhunderts (**1580**) wurde dieser Gegenstand allgemein als eine bewundernswerthe Unternehmung für die neuere Zeit betrachtet — nämlich die Aufgabe, ihn zu transportiren und vor dieser Kirche aufzustellen. Mehrere Ingenieure und Mechaniker, sowohl aus der Stadt als aus der Nachbarschaft, hatten sich schon in verschiedenen Perioden damit beschäftigt, die Mittel zur Realisirung dieses Vorhabens auf die sicherste und sinnreichste Art aufzusuchen Da ich in meiner Jugend, während meines Aufenthalts in Rom, zum großen Theil Gelegenheit hatte, alles das in dieser Hinsicht Vorgeschlagene zu beobachten, so theile ich im Nachfolgenden eine genaue Beschreibung der merkwürdigsten Erfindungen mit, und bringe einige andere blos in Erinnerung. Bei einer von diesen war davon die Rede, einen außerordentlich großen Wagen von Zimmerholz auf einer Menge großer und mit Eisen beschlagener Räder zu bauen, den in Tauen eingehüllten Obelisken auf demselben zuerst auf den Platz zu bringen und ihn dann, nachdem man denselben in seiner Mitte aufgehängt hatte, aufzurichten. Ein anderer Entwurf bestand darin, einen mit Mauerwerk bekleideten Kanal auszugraben, ihn mit Wasser zu füllen und auf demselben den Obelisken mittelst eines Fahrzeugs an den Ort zu bringen, wo er errichtet werden sollte. Ich übergehe eine Menge anderer Vorschläge von demselben Gehalt mit Stillschweigen.“

„Von Denjenigen, welche diese Aufgabe mit den erforderlichen Kenntnissen behandelten, setzten sich die Einen vor, gestützt auf die außerordentliche Krafterzeugung des Hebels, den Obelisken mittelst einer äußerst großen eisernen Stange zu heben und niederzulassen. Diese Stange wollten sie in der Nähe von Haken auf einem starken Zimmergerüst unterstützen und das andere Ende mit einem Gewicht belasten, durch welches die Masse des Obelisken im Gleichgewicht erhalten würde. In dieser Lage und in allen Punkten gut unterstützt, sollte er mittelst Erdwinden an die von ihm einzunehmende Stelle gezogen und daselbst durch den nämlichen Mechanismus aufgerichtet

werden. — Andere, gestützt auf das Prinzip der Schraube (deren Thätigkeit äußerst langsam ist), schlugen verschiedene Entwürfe vor. Bei dem einen derselben sahe man zwei große Schrauben, welche schief gegen den Obelisken gerichtet und an seinen Seitenflächen angreifend waren. Ihre Wirkung sollte darin bestehen, den Obelisken nach und nach durch Umstürzen bis auf eine geneigte — besonders aufgeführte Rüstung zu schaffen und ihn dann in dieser wohl befestigten Lage an seine Stelle zu bringen, um ihn hier durch dieselbe Vorrichtung wieder aufzustellen."

„Nach einem andern Vorschlag sollte der Obelisk mit Hülfe von vier starken Schrauben gehoben werden, welche mit ihren Muttern in einem starken Rahmen von Zimmerholz vertikal befestigt waren. Zwei andere längere, horizontal gelegte und durch große Steine angehaltene Schrauben hatten die Bestimmung, das Ganze nach und nach auf Walzen bis an den bezeichneten Ort fortzuschieben, an welchem dann die erstern Schrauben ihn wieder erhoben und auf sein Fußgestell gesetzt hätten. — Man kam hernach auf den Gedanken, zwei große Zimmergerüste in der Gestalt von Halbrädern, welche auf ihrem Durchmesser lagen, zu errichten, und den Umfang mit Einschnitten zu versehen, die nach und nach große Balken aufnehmen sollten, um den Obelisken in dem Maße zu unterstützen, als er sich senken würde. Nach dem Niederlegen hätte man die Fortschaffung durch Erdwinden bewerkstelligt und hierauf bei der Errichtung das Verfahren eingeschlagen, welches das umgekehrte von dem bei dem Niederlegen beobachteten gewesen wäre."

„Ein Halbrad wurde auch, jedoch in einer umgekehrten Lage, vorgeschlagen. Die Grundfläche dieses Zimmergerüstes sollte durch eiserne Bande mit dem Schaft des Obelisken dauerhaft verbunden werden, so daß dieser, nachdem er umgelegt worden war, auf dem Umfang desselben sich im Gleichgewicht befinden würde. Man hätte dann die ganze Vorrichtung auf einer Holzebene so weit von der bestimmten Stelle gebracht, daß durch eine Viertelsumdrehung des Rades der Obelisk auf seinen Platz gekommen wäre. — Ein Mann von erfinderischem Geist wurde durch die tiefe Kenntniß der Vortheile der kreisförmigen Bewegung vor jeder anderen zu dem Entwurf geleitet, ein doppeltes Rad von **120** Palmen (oder nach unserem Maße **15** Schritt) Durchmesser zu fertigen, welches auch die Größe des Obelisken ist. Jede der Seiten dieses Rades war auf ihrem Umfang in acht Beschläge getheilt, welche in ihrer Mitte und an ihren Enden durch **16**

nach dem Mittelpunkt des Umfangs gerichtete Stücke gestützt waren; diese Stücke selbst wurden wieder durch andere gehalten, welche sie nach allen Richtungen durchkreuzten. Das Innere dieser Maschine sollte so geräumig seyn, daß es den ganzen Obelisken aufnehmen konnte. Nachdem dieser darin befestigt und gegen jede Beschädigung gesichert gewesen wäre, würde man ihn weggenommen haben, indem man diese Maschine auf einer Ebene von Zimmerholz mittelst Erdwinden und Taue, die um zwei Achsen im Mittelpunkt der beiden Rädertheile gewickelt waren, fortgerollt hätte. Man würde auf diese Art den Fuß genau über die Stelle gebracht haben, wo der Obelisk errichtet werden sollte."

„Der Gedanke, den Obelisken nach und nach auf Keilen (dem langwierigsten Verfahren unter allen), in einem Gerüst von pyramidalischer Gestalt und auf einem Holzrahmen befestigt, zu erheben, und die Unterlagen, wenn er an sein Fußgestell mittelst Erdwinden gebracht worden wäre, wieder wegzunehmen, um ihn auf dieses niederzulassen, — wurde ebenfalls nicht übersehen. — Endlich ersann einer meiner Freunde, ein talentvoller und in der Mechanik sehr erfahrener Mann, unter andern schönen Einrichtungen ein Gerüst von Zimmerholz in der Gestalt des Obelisken und führte ein Modell davon aus. Der Stein war darin völlig eingehüllt und in allen seinen Theilen bedeckt. Er wurde mit Hülfe von vier großen Hebeln von Holz gehoben, welche man an seiner Spitze angreifen und durch große Taue bewegen ließ. Nachdem er bis auf eine schickliche Höhe aufgezogen worden wäre, hätte man ihn ganz aufgerichtet bis auf seinen Platz geführt und ihn dort durch denselben Mechanismus auf seinen Fuß niedergelassen."

N. Zabaglia hat in seinem interessanten Werke mehrere Skizzen dieser verschiedenen Entwürfe nach den soeben gelieferten Beschreibungen mitgetheilt. — Schließlich können wir uns nicht enthalten, uns darin mit Scammozzi übereinstimmend zu äußern, daß diese wichtige Aufgabe durch die verschiedenen Arten nur rationell aufgelöst ist, und man hat zu bedauern, daß die genaue Kenntniß der materiellen Hülfsmittel, welche die Ausführung sichern mußten, nicht bis zu uns gelangt ist. Scammozzi geht hierauf in einige Details über die Mittel ein, welche der mit diesem Unternehmen beauftragte Ritter Fontana anwendete. Wir hielten dafür, daß die Figuren **1**, **2** und **3**, welche aus dem — von C. Fontana (dem Bruder jenes geschickten Architekten) über diesen Gegenstand veröffentlichten Werke entlehnt sind, einen allgemeineren

Nutzen in demselben Falle haben könnten als die umständlichste Beschreibung. Das 19. Kapitel des 8. Buches von Scammozzi's Werk schließt mit der Angabe des Verfahrens, welches der Verfasser bei einer Aufgabe jener Art angewendet haben würde. Dasselbe unterscheidet sich aber wenig von der wirklich in Ausführung gekommenen mechanischen Vorrichtung.

Erklärung der Tafel CLXX.

(Nach Zabaglia und Fontana.)

Figur 1 und 2.

A, der Obelisk noch auf seiner antiken Grundfläche.

B, Einfassungen und eiserne Ketten, womit er umgeben war.

C, vertikale Ständer, welche aus verbundenen Balken gebildet und in dem System dauerhaft aufrecht erhalten sind.

D, geneigte Hölzer oder Streben, wie die vorhergehenden zusammengesetzt; sie stützen das Gerüst nach allen Richtungen.

E, Rahmen, wodurch die vertikalen Ständer oben am Gerüst gebunden werden.

F, Flaschen, welche an den oberen Rahmen des Gerüstes befestigt sind.

G, Flaschen an den Einfassungen des Obelisken, mit ihrem Tauwerk bezogen.

H, Ableitungsrollen, durch welche die Taue nach den Erdwinden geleitet werden.

I, Hebel von Zimmerholz, deren man sich zur Erleichterung des Erhebens des Obelisken bediente.

L, Andreaskreuze, wodurch die Festigkeit des Gerüstes vermehrt wurde.

M, Taue, welche an die Flaschen befestigt und nach den Erdwinden vermittelst der Ableitungsrollen geführt wurden.

Figur 3.

Diese stellt das Verfahren beim Umlegen des Obelisken dar, welches im Ganzen nicht von dem verschieden ist, das bei seiner Errichtung beobachtet wurde.

A, doppelte Querbalken mit den daran befestigten Hauptflaschen, welche mit den die größte Last zu tragenden Tauen bezogen waren.

B, der an den Tauen hängende Obelisk — in dem Augenblick, wo er sich allmählig gegen die Erde neigt.

C, Rüsttaue gegen das Schwanken, welches bei belastetem Gerüst stattfinden konnte.

D, eine bewegliche Strebe, welche aus vier Balken bestand und den Obelisken bei seinem allmähligen Niedersinken unterstützte.

Q, Holzebene von 80 Palmen Länge und 9 Palmen Breite, bestehend aus vier Balken von 2 1/4 Palmen im Gevierte. Sie waren durch eingelassene Querhölzer verbunden, und der Obelisk war an sie mit seiner Grundfläche durch Taue befestigt, damit er sie nebst den Walzen, worauf sie lagen, durch die Wirkung seiner schiefen Lage fortschieben konnte.

E, Fuß des Obelisken, festgehalten durch vier Erdwinden, welche in dem Verhältniß des Niedersinkens Tau nachließen.

F, Spitze des Obelisken, über das Zimmergerüst hinausragend.

G, an den Enden mit Eisen beschlagene Walzen von 1 Palme Durchmesser. Es lagen deren 70 zwischen dem Balkenbeleg uud den Unterlaghölzern; einige davon wurden unter der Last zerdrückt und andere in die Unterlaghölzer gesenkt.

H, Erdwinden, welche insgesammt für das Niederlegen des Obelisken wirkten.

i, eine kleine Holzunterlage von 30 Palmen Länge, welche zuerst unter den Fuß des Obelisken gelegt und nach dem Niederlegen desselben weggenommen wurde.

h, Leiter, an das Gerüst angelehnt, um sie überall dahin bringen zu können, wo sie nothwendig war.

s, eiserne Bänder, welche nebst den Bolzen t zur Verbindung der Hauptstücke des Gerüstes dienten. Es ist eine wesentliche Bemerkung, daß man es — nachdem mehrere Bänder durch die außerordentlich große Wirkung der Masse auf die Verbindung beim Niederlegen des Obelisken zerbrochen waren — für räthlich hielt, zu diesem Verstärkungsmittel noch Taubänder zu fügen, wie es beim Bemasten der Schiffe gebräuchlich ist. Nach der Errichtung des Monuments erkannte man, daß dieses Verfahren einen mehr gesicherten Erfolg hatte.

Tafel CLXXII.

Vitruv's Beschreibung der beim Bauwesen gebräuchlichen Maschinen.

10. Buch, 2. Kapitel. [1])

„Wir betrachten zuerst die Maschinen, welche bei Erbauung der Tempel und anderer öffentlicher Gebäude angewendet werden; sie sind von folgender Beschaffenheit. — Man errichtet drei Bäume, welche dem Gewicht der aufzuziehenden Lasten entsprechen, Figur 2. Oben sind sie durch einen Bolzen verbunden und unten aus einander gestellt. An der Spitze, auf zwei Seiten durch Taue festgehalten, ist eine Flasche befestigt, welche von Einigen **rechamus** genannt wird. In dieser Flasche befinden sich zwei Rollen, welche sich um ihre Bolzen drehen. Das beim Zug zu verwendende Kabeltau geht über die oberste Rolle, dann über eine Rolle in der unteren Flasche; hierauf führt man es zurück über die untere Rolle der oberen Flasche, dann nochmals abwärts und befestigt das Ende in einem Loch, welches sich in der unteren Flasche befindet. Das andere Ende des Kabeltaues geht abwärts nach der Gegend hin, wo die großen viereckigen Bäume zurück- und auseinander gehen. An diese sind die Traghölzer befestigt, welche die beiden Zapfen der Welle aufnehmen, damit sich diese leicht umdrehen kann. Die Welle hat gegen jedes ihrer Enden hin zwei auf die Art angebrachte Löcher, daß Hebebäume in dieselben gesteckt werden können. An dem unteren Theil der unteren Flasche befestigt man eiserne Zangen, deren Haken in Löchern eingreifen, welche man zu dem Ende in die Steine eingelassen hat. Die Maschine setzt man zum Aufziehen in Thätigkeit, wenn man das eine Tauende an die Welle befestigt und diese durch Hebebäume umdreht, wodurch das sich umwickelnde Tau angezogen wird.“

3. Kapitel.

„Die Maschine, von der wir soeben geredet haben, besteht aus drei Rollen und heißt Trispastos (dreifach bezogene Maschine). Hat sie zwei Rollen unten und drei oben, so nennt man sie Pentaspastos (fünffach bezogene Maschine). Werden Maschinen verlangt, die zum

---

1) Der Verfasser theilt hier nicht eine eigene Uebersetzung — sondern die von Claude Perrault mit.

Aufziehen der größeren Laſten brauchbar ſind, ſo hat man dazu längere und ſtärkere Bäume nöthig, und Bolzen und andere obere Bänder — ſo wie auch die Welle unten — müſſen verhältnißmäßig ſtärker ſeyn.

„Nach dieſer Vorbereitung werden die Taue, welche an dem vorderen Theil der Maſchine ſind, locker gelaſſen, und man befeſtigt weit genug von da die Rüſttaue, welche die Maſchine oben halten. Alsdann ſchlägt man mittelſt Schlägel ziemlich vorwärts in ſchräger Richtung Pfähle ein, wenn man nicht anderswo die Taue gehörig befeſtigen kann. Hierauf muß man den oberen Theil der Flaſche ganz oben an die Maſchine anbinden, und von da aus ein Tau gegen einen Pfahl führen und hier befeſtigen. Nachdem man das Tau über die Rolle dieſes unteren Theils hat gehen laſſen, führt man es nach dem oberen hinauf und läßt es gegen die Welle niedergehen, wo man es endlich befeſtigt. Indem die Welle durch die Hebebäume umgedreht wird, erhebt ſich die Maſchine ſelbſt ohne irgend eine Gefahr, weil ſie durch die Rüſttaue, welche hin und wieder an Pfähle angeſchlungen ſind, ſicher feſtgehalten wird. Hierauf kann man ſich der Flaſchen und des Kabeltaus bedienen, wie es oben angeführt worden iſt.“

4. Kapitel.

„Wenn man es bei Aufführung eines Bauwerks mit Laſten von außerordentlicher Größe und von ungewöhnlichem Gewicht zu thun hat, ſo kann man dieſelben nicht an eine Welle befeſtigen, ſondern man muß durch die Traghölzer, in welchen ſich die Zapfen der Welle bewegten, eine Achſe gehen laſſen. In der Mitte dieſer Achſe befindet ſich eine große Trommel (Figur 3), von Einigen Rad, von den Griechen *ἀμφίρευσις* oder *περίτροπος* genannt. Es iſt auch nöthig, daß die Flaſchen von einer anderen Geſtalt ſind, denn ſowohl die obere als die untere müſſen zwei Reihen von Rollen haben, und das Tau muß durch das Loch der unteren Flaſche gehen, ſo daß ſeine beiden Zweige, wenn es ausgedehnt iſt, gleich ſind; in ſeiner Mitte aber, welche ſich in dem Loch der unteren Flaſche befindet, muß es mittelſt eines kleinen Strickes gut befeſtigt ſeyn, damit es ſich nach keiner Seite hin durchziehen läßt. Hierauf führt man die beiden Zweige des Taues von der äußeren Seite der oberen Flaſche über die unteren Rollen, um wieder abwärts- und zurückzugehen über die Rollen der unteren Flaſche von ihrer inneren Seite her. Alsdann wenden ſich die Taue noch zur Rechten und Linken, um oben über die obere Flaſche zu gehen, und

steigen nun abwärts und werden auf beiden Seiten der Trommel an die Achse befestigt. Außer diesem Tau giebt es noch ein anderes, das von der Trommel aus mit Umwickelungen um dieselbe nach einer Erdwinde hingeht, durch welche, indem sie durch ihre Wirksamkeit die Trommel umdreht, die Taue gleichmäßig um die Achse angezogen werden, und die Last sich auf diese Art allmählig ohne Gefahr erhebt. Dieses Geschäft wird noch leichter ausgeführt, wenn man die Trommel sehr groß machen will, weil man sie alsdann ohne Hülfe der Erdwinde drehen kann, indem entweder Menschen im Innern treten, oder indem man sie an den äußeren Theilen wirken läßt."

5. Kapitel.

„Es giebt eine andere Maschine, welche ziemlich sinnreich und sehr bequem zu einem in kurzer Zeit auszuführenden Aufziehen der Lasten ist; aber sie muß mit Geschicklichkeit angewendet werden. Man richtet nämlich einen Baum auf und hält ihn auf vier Seiten durch Taue fest (Figur 1). Oben an diesem Baum — etwas unter der Stelle, wo die Taue befestigt sind — bringt man zwei Beschläge an, welche mit der Flasche nebst den Tauen versehen werden. Man verstärkt die Flasche durch eine Platte von ungefähr zwei Fuß Länge, sechs Finger Breite und vier in der Dicke. Die Flaschen haben je nach ihrer Breite drei Reihen von Rollen, so daß es drei Kabeltaue giebt, welche, nachdem sie oben an der Maschine befestigt sind, von innen nach außen über die drei Rollen gehen, die sich oben an der unteren Flasche befinden; sie kehren dann nach der oberen Flasche zurück, gehen hier von außen nach innen über die unteren Rollen. Von da kommen die Taue nach der unteren Flasche, gehen von innen nach außen über die Rollen in der zweiten Reihe und kehren hierauf nach der oberen Flasche zurück, wo sie nun über die Rollen in der zweiten Reihe gezogen werden. Von hieraus kommen sie wieder nach der unteren Flasche und endlich noch einmal nach der oberen, wo sie über die oberen Rollen und nach einer an dem unteren Theil der Maschine befindlichen dritten Flaschen gehen, welche von den Griechen *ἐπαγον* und von den Römern artemon genannt wird. Diese Flasche befindet sich an dem Fuß der Maschine und hat drei Rollen, über welche die drei von Menschen gezogenen Kabeltaue gehen. Auf diese Art können drei Reihen von Arbeitern die Lasten ohne Erdwinden herbei- und aufziehen."

„Diese Maschine wird von den Griechen πολυσπαστος genannt, weil sie vermöge einer großen Anzahl von Rollen mit vieler Leichtigkeit und Schnelligkeit wirkt. Sie gewährt außerdem die große Bequemlichkeit, da sie nur aus einem einzigen aufgerichteten Baume besteht, daß man sie vorwärts oder zur Seite, links und rechts, neigen kann, um die Last an einen beliebigen Ort niederzulegen.“

„Alle die hier beschriebenen Maschinen sind nicht allein zu dem angeführten Zwecke brauchbar, sondern auch zum Ein- und Ausladen der Schiffslasten, und zu dem Ende richtet man sie auf oder legt sie auf Holzstücke nieder, auf denen man sie bewegen kann, damit sie nach der erforderlichen Seite hingekehrt sind. Auch zieht man ohne den aufzurichtenden Baum, von welchem die Rede war, das Schiff aus dem Wasser, indem man sich nur der durch die Flaschen gezogenen Taue bedient.»

Die Beschreibung dieser letzteren Maschine läßt sich vollkommen auf diejenige Maschine anwenden, von welcher man bei Aufrichtung des Obelisken auf dem großen Circus Gebrauch machte, wie wir es in der angeführten Stelle aus Ammian Marcellinus gesehen haben. Wahrscheinlich ist der Geschicklichkeit, mit welcher man sich derselben bei dem Seewesen bediente, zuzuschreiben, daß dieses Verfahren bei jener Gelegenheit angewendet wurde.

Tafel CLXXIII.

Grosser, zur Erbauung des Doms der Genovevenkirche bestimmter Krahn (im Jahr 1763).

1, oben abgerundete Tragsäule mit vorstehenden Theilen.

2, unterer Theil der Tragsäule, welcher vierkantig ist und durch doppelte Streben (**3**) gehalten wird.

4, horizontal liegender Kreis.

5, Fußgestell des Krahnes, bestehend aus doppelten Schwellen, in welche die Streben eingezapft sind und welche den Fuß der Tragsäule umfassen.

6, Walzen zwischen doppelten Unterlaghölzern.

7 und **8**, Krahnbalken, aus zwei großen an einander geschifteten Zimmerstücken bestehend, mit einer Verstärkung (**9**) unterhalb.

10, Pfanne, in welche der Zapfen der Tragsäule greift.

12 und **12**, zwei große Zangen, welche die Tragsäule umfassen.

14, hängender Träger.

15 und **16**, große Bänder zum Tragen des Krahnbalkens.

17, **18**, **19** und **20**, andere Zangen zum Umfassen der Bänder und des Krahnbalkens.

21 und **22**, andere hängende Träger zum Unterstützen der Welle.

23, Tretrad mit Sprossen, in welchem die zum Aufziehen der Last bestimmten Arbeiter wirken.

24, Rollen, auf dem horizontal liegenden Kreis beweglich und an das Ende der zum Tragen der Welle bestimmten Zange angebracht, um dadurch die Bewegung des Krahnbalkens um die Tragsäule zu erleichtern.

25, **26** und **27**, Rollen von Gußeisen mit kupfernen Pfannen.

Krahn, welcher bei der Erbauung der chirurgischen Schule (1772) gebraucht wurde.

1, Tragsäule, oben abgerundet, unten vierkantig und durch vier Streben (**2**) gehalten.

3, Fußgestell, bestehend aus zwei sich rechtwinklig durchkreuzenden Hölzern.

4, Krahnbalken, aus zwei an einander geschifteten Holzstücken zusammengesetzt.

5 und **6**, zwei den Krahnbalken tragende große Bänder.

7, **8**, **9**, **10** und **11**, Zangen zur festeren Verbindung der Bänder mit dem Krahnbalken.

12, Pfanne von Gußeisen, welche den Zapfen der Tragsäule aufnimmt.

13 u. **14**, hängende Träger mit Bändern zur Aufnahme der Welle.

16, gezahntes Rad an der Welle, eingreifend in einen Trieb von vier Triebstöcken, woran sich ein Rad von Eichenholz befindet, welches mit Hülfe einer Schraube ohne Ende umgedreht wird. An dieser Schraube befindet sich eine Kurbel, welche ein einziger Mann bewegt.

17, ein Balancier.

18, ein leichtes Gerüst, auf welchem der Arbeiter steht.

Tafel CLXXIV.

Erklärung der Zahlen zur Bezeichnung der Theile des neuen Krahnes, welcher im Jahr 1785 von Rondelet, Architekten und damals Inspekteur der Arbeiten an der neuen Genovevenkirche, angegeben worden ist.

1, abgerundeter Theil der Tragsäule, oben der Drehzapfen.

2, vierkantiger Theil der Tragsäule, durch vier — mit **3** bezeichnete Streben gehalten.

4, Rahmen von Zimmerholz, das Fußgestell bildend und die Strebepfeiler aufnehmend.

5, Backen mit dem um die Tragsäule beweglichen Gebälke.

6, Riegel, wovon der eine die gußeiserne Pfanne enthält, in welche der Zapfen der Tragsäule greift.

7, großer Rahmen.

8, Kappe.

9, Bohlenstück oder Schwelle.

10, Streben zum Stützen der Backen oberhalb gegen den großen Rahmen.

11, große Bänder zu demselben Zweck unterhalb.

12, doppelte Träger für die Welle an dem einen Ende.

13, hängender Träger, oben mit einem Band, zum Tragen des anderen Endes der Welle.

14, großes Sprossenrad.

15, beweglicher Krahnbalken mit einer Rolle, um das Kabeltau mit der daran befindlichen Last zu entfernen.

16, Balken mit einer gezahnten eisernen Stange, welcher mit Hülfe eines Messers (**17**), das in die Zähne eingreift, den Krahnbalken festhält.

18, eiserne Stange mit Nuthe zur Bewegung des Messers entweder zum Eingreifen in einen Zahn oder zum Herausheben aus demselben.

19, eiserne Achse mit einer durchbrochenen Kurbel, wodurch die Stange mittelst eines eisernen Hebels (**20**) bewegt wird.

a und **b** sind zwei eiserne Haken; **a** nimmt den Hebel auf beim Feststellen des Krahnbalkens, **b** — wenn er beweglich seyn soll.

21, kleiner eiserner Hebel, an die Achse **19** befestigt, um mittelst einer Kette einen andern kleinen Hebel **22** mit einem Gewicht **23** und

einer kleinen Welle **24** zu bewegen. Um diese Welle wickelt sich eine Kette **25**, zu einem doppelten Hebel gehöriz, durch welchen die Rolle an dem Krahnbalken gehemmt wird, indem er in ein eisernes gezahntes und an der Rolle befestigtes Rad greift.

26, kleines Gewicht, durch welches der Doppelhebel in der Höhe bleibt, wenn die Rolle enthemmt und der Krahnbalken fest ist.

27, hölzerne Walze zur Erleichterung der Bewegung des mit der gezahnten Stange versehenen Tragbalkens **16**.

Das Gewicht **23** zieht auch die Kette **25** an, während der Krahnbalken beweglich ist.

28, Sperrung zum Hemmen des Rades; **29**, ein Gewicht zum Aufheben der Sperrung, damit das Rad bewegbar ist.

Tafel CLXXVI.

Es wurde auf Seite **90**, als von dem neuen System des Kastenbaues nach der Erfindung des Herrn Tardif die Rede war, erwähnt, daß dieses Verfahren mit wesentlichen Verbesserungen bei Ausführung des Schachtes angewendet worden ist, der zu dem unterirdischen Weg — Tunnel genannt — führt, den man gegenwärtig unter der Themse zu London baut. Es folgen hier über diesen Gegenstand einige ausführliche Nachrichten, welche aus einer Abhandlung entnommen sind, die Herr B. Schlick, dänischer Architekt, in der Akademie der schönen Künste (zu Paris) den **25**. November **1826** vorgelesen hat. Dieser Architekt hatte einige Zeit unter den Augen des Herrn Brunel, eines französischen Ingenieurs und des kühnen Unternehmers, jene ausgezeichneten Arbeiten beobachtet.

Erbauung des Schachtes.

Der Anfang wurde mit Aushebung eines Brunnens von der Tiefe bis zu den auszuführenden Arbeiten gemacht. Der Architekt benahm sich hierbei auf eine ebenso geschickte als sinnreiche Art, und dieselbe verdient um so mehr unsere Beachtung, als das Ausführliche dieser sinnreichen Construction noch nicht bekannt ist.

Nachdem der Ort ausgesucht war, wurden hier Grundpfähle in einem Kreis eingeschlagen, und diese hatten die Bestimmung, einen

hohlen Cylinder oder Thurm, welcher die Bekleidung einer Vertiefung von derselben Größe bilden sollte, für den Augenblick zu tragen. Als das Pfahlwerk auf diese Art vorbereitet war, erbaute man auf demselben jenen Thurm von vierzig Fuß Höhe. An diesem sind fünf verschiedene Theile zu bemerken.

Der erste Theil ist ein Kreis von Gußeisen, hat 3 Fuß Höhe und seine Grundfläche bildet eine Schneide, deren Flächen 45 Grad Neigung haben, wodurch sie im Stande ist, mittelst des auf ihr lastenden Gewichtes in den Boden einzudringen.

Der zweite Theil ist ein Ring von Holz, hat 3 Fuß Höhe und 1 Fuß Dicke, ruht auf jenem Kreis und dient zur Lage zwischen diesem Kreis und der weiteren Construction.

Der dritte Theil ist eine Construction aus Backsteinen, die durch Cement innig verbunden sind.

Der vierte Theil besteht aus 48 Holzstücken, ebenso viele Bolzen enthaltend, welche senkrecht durch die Backsteine gehen und mit Hülfe von Muttern dieselben in einem geschlossenen Zustand erhalten. Diese Bolzen sollen nicht bleiben, wenn der Bau fertig ist, und sind deßhalb leicht herauszuziehen. Die von ihnen zurückgelassenen Oeffnungen dienen zum bequemen Durchsickern des Wassers und führen dasselbe in eine auf dem Grund der Hinabsteigung befindliche Grube, aus welcher es leicht weggeschafft werden kann.

Der fünfte Theil ist aus leichten Holzringen zusammengesetzt, welche in gewissen Entfernungen zur Leitung der Arbeit angebracht sind.

Oben hatte dieser Thurm eine Holzdecke, auf welcher sich eine Dampfmaschine von hohem Druck und doppeltem Cylinder, von 36 Pferden Kraft, mit Kessel, Rauchfang u. s. w. befand. Sie setzte eine Kette mit Gefäßen in Bewegung, diente statt des Erdräumers, schöpfte die von den Arbeitern ausgegrabene Erde und hob sie an die Oberfläche.

Art des Eindringens der Bekleidung dieses Schachtes in die Erde.

Nachdem diese kühne und sinnreiche Construction so vorbereitet war, nahm die Aushöhlung den 1. April 1825 ihren Anfang. Die ausgegrabene Erde wurde sogleich durch die Maschine fortgeschafft. Da man auf Wasser stoßen konnte, so hatte man sich zu dem Ende mit aufgestellten Pumpen vorgesehen. In dem Maße, als die Erde

nach und nach weggeschafft wurde, senkte sich der Thurm durch sein eigenes Gewicht und durch seine schneidende Grundfläche fast unmerklich.

Dennoch in der Zeit, als ich diesen Arbeiten beiwohnte, empfand man einen sehr bemerkbaren Stoß. Der Bau senkte sich nämlich plötzlich um 8 Zoll mit einem — dem Donner gleichen Geräusch. Wir wurden vom Schreck ergriffen und glaubten, die Bekleidung wäre geborsten, und die Maschine mit ihrem Ofen stürze über unsern Köpfen ein. Glücklicherweise blieb die Maschine fest, das Geräusch hörte auf, und wir sahen mit unaussprechlicher Freude, daß das Werk keinen Schaden gelitten hatte und die Maschine oben ganz unversehrt war.

Tafel CLXXXIII.

Beschreibung der Maschine von Herrn Perronet.

Figur 1 und 2. — Da diese Maschine sehr einfach ist (sagt Herr le Sage, von welchem wir diese Beschreibung entlehnen), so kann sie in allen den Fällen gebraucht werden, wo man einen großen Druck hervorzubringen hat, weil das Maximum des Gesammtgewichtes bis auf **39000** Pfund (**18649,950** Kilogramme) gebracht werden kann. Sie besteht aus einer eisernen Stange **AA**, welche an dem einen Ende **B** um eine an den sehr starken eisernen Ständer **C** befestigte Achse beweglich ist. Dieser Ständer ist unverrückbar fest in der Masse des Mauerwerks unter dem Binder und an der vertikalen Mauer, gegen welche sich das ganze System der Maschine anlehnt.

Die den Hebel bildende Stange ist aus zwei Theilen zusammengesetzt, wovon der eine auf dem andern in der Längenrichtung verschoben und daher der Hebel verlängert oder verkürzt werden kann. Jeder Theil hat eine Eintheilung, welche zum Messen der Verlängerung oder Verkürzung dient, wenn mit irgend einem Stück der Versuch vorgenommen wird. Hierbei legt man ein Gewicht mit Vorsicht und ohne Stoß auf eine starke hölzerne Schale **E**, welche durch vier Seile und einen starken eisernen Ring aufgehängt ist; dieser Ring befindet sich in einem Ausschnitt am Ende des Hebels, der in beiläufig horizontaler Lage angenommen wird.

Will man mit dieser Maschine große Pressungen erzeugen, so legt man zuerst den zu pressenden Gegenstand auf die Unterlage N von Eichenholz, welche der ganzen Maschine zur Basis dient, und mittelst Unterlagen von Holz und Eisen von verschiedener Dicke unter die Mitte des Eisenstücks G. Dieses Stück hat die Gestalt eines Parallelepipedums mit einem dreiseitigen Prisma, dessen Kanten eine horizontale und auf die Längenrichtung des Hebels senkrechte Lage haben. Es ist nur in der Richtung seiner Höhe beweglich, so daß es den von dem Hebel empfangenen Druck auf den zu prüfenden Gegenstand übertragen kann. Wenn sich kein solcher unter ihm befindet, geht ein kleiner eiserner Bolzen durch seine Mitte und hält es von Fallen ab.

Kennt man das Gewicht dieses Eisenstücks, des Hebels und der Schale, und die Entfernung des Angriffspunkts dieses Gewichtes von dem Mittelpunkt der Pressung und von dem der Umdrehung, so kann man die ursprüngliche Kraft berechnen, welche von den Theilen der Maschine selbst herkommt. Betrachtet man hierauf das auf die Schale gelegte Gewicht und addirt das Produkt aus diesem in das Verhältniß der Entfernungen des Angriffspunktes und des Druckes von der Drehachse, so erhält man die Kraftäußerung, welche aus dem angewendeten Gewicht hervorgeht. Die Summe dieser beiden Kräfte ist die Größe des Druckes, welcher dem Gegenstand mitgetheilt wird, dessen Widerstandsfähigkeit man erfahren will. Als diese muß man die Grenze der Belastung ansehen, unter welcher er zerdrückt oder bemerkbar seine Gestalt geändert wird.

Diese Maschine kann auch über den Widerstand Kenntniß geben, welchen die Körper dem Biegen entgegensetzen. Zu dem Ende hat man ein sehr festes eisernes Gestell H angebracht, das auf seinen eisernen — geraden oder gekrümmten Querstücken I den Körper in horizontaler Lage mit seinen Enden tragen soll. Das Eisenstück wirkt alsdann auf die Mitte des zu prüfenden Körpers.

Soll die Maschine zur Bestimmung der Zähigkeit oder Cohäsion von Holz und Metallen ihrer Längenrichtung nach verwendet werden, dann muß ihre Wirkung ein Ziehen seyn — statt des bei dem ersten Versuch erzeugten Druckes. Man hat zu dem Ende an dem Hebel an dem Orte, wo er auf die Kante des Eisenstückes G drückt, ein Loch J angebracht. In dieses Loch befestigt man das eine Ende des der Länge nach zu ziehenden Körpers, indem man unten einen Kopf, eine Mutter oder irgend ein anderes Mittel anbringt. Das

andere Ende klemmt man recht fest zwischen die eisernen Backen **K**. Diese sind mit einer Schraubenspindel versehen, welche in eine Mutter **M** greift, die auf einem unverrückbar an den Ständer **C** befestigten Vorstand liegt; es ist dies derselbe Ständer, welcher die Achse des Hebels **AA** aufnimmt. Mit Hülfe der Mutter und Schraubenspindel kann man die Backen von dem Hebel entfernen oder demselben nähern, je nachdem es die Länge des zu prüfenden Körpers erfordert. Die Größe der Kraft, welche die Maschine in diesem Falle äußert, wird völlig ebenso bestimmt wie in dem vorhergehenden.

Erklärung.

AA, doppelter Hebel, in allen seinen Theilen berechnet und genau ausgeführt.

B, Mittelpunkt der Drehung.

C, eiserner Ständer zum Unterstützen der ganzen Maschinenwirkung.

D, Bügel zur Verbindung der beiden Theile des Hebels.

E, Schale, auf welche man nach einander verschiedene Gewichte legt, die bis zu **900** Pfund (**440,550** Kilogramme) steigen können.

F, Ausschnitt für den Ring, welcher die Schale trägt.

G, Eisenstück.

H, eisernes Gestell.

I, zwei Quereisen, die durch ihre Gestalt und Lage den Zwischenraum unter sich je nach der Länge des zu prüfenden Körpers verändern können.

J, vertikales — durch den Hebel gehendes Loch zur Aufnahme der zu prüfenden Körper.

K, eiserne Backen, welche zur Erkenntniß der Zähigkeit und Cohäsion der Metalle dienen.

L, die mit Sorgfalt bearbeitete Schraubenspindel.

M, die zugehörige Mutter.

N, starke Unterlage von Eichenholz.

O, Klötze von verschiedener Höhe, welche man anfangs unterlegt.

P, Rollen zum Heben und Senken des Hebels.

Q, erstes auf die Schale gelegtes Gewicht.

Diese Beschreibung der Maschine des Herrn Perronet — wenig verschieden von der des Herrn Soufflot, von welcher im 1. Buch die

Rede war — wird zum besseren Verständniß mehrerer Einzelheiten dienen, welche durch die perspectivische Zeichnung in Figur **1**, auf Tafel **VII** dieses Werkes nicht dargestellt werden konnten.

Tafel CLXXXV.

Kuppel des Pantheons zu Rom und andere antike Kuppeln.

Man sieht in Rom noch die Ruinen einer großen Anzahl runder Tempel; es werden deren über fünfzig gezählt. Die hauptsächlichsten sind: das Pantheon, die Tempel des Bachus, des Faun's, der Vesta, des Romulus, der Cybele, des Neptuns, der Venus und viele andere, ungerechnet die Ruinen der runden Gebäude der Thermen und anderer Kuppelgebäude. Das größte und prächtigste Gewölbe dieser Art ist unstreitig das des Pantheons Agrippa's, heutzutage Kirche der heiligen Maria und aller Märtyrer. Der innere Durchmesser dieser Kuppel beträgt **134** Fuß **7 1/3** Zoll; sie hat in der Mitte eine Oeffnung von **27** Fuß **5** Zoll Diameter. Die Höhe dieses Gewölbes erstreckt sich von dem Karnieß der Attike bis zur Kante der Oeffnung auf **66** Fuß **7** Zoll. Im Inneren ist es durch fünf Reihen großer, quadratförmiger Felder geziert, von denen die der beiden unteren Reihen nahe **12** Fuß Seite haben; ihr Inneres ist sehr tief und von fünf Façen oder Futtern umgeben, die über einander vorspringen. Die Stücke von Silberplatten, welche man im Grunde dieser Felder gefunden hat, ließen glauben, daß sie mit diesem Metalle bekleidet und mit dergleichen Einsatzrosen versehen gewesen wären. Es existirt noch um die Oeffnung des Gewölbes ein Rest eines vergoldeten Gesimses in Bronze, das mit Schnitzwerk geziert war; deßgleichen Bänder von demselben Metall, welche jenes Gesims und die früher darüber befindliche Bekleidung unterstützen sollten.

Außerhalb ist die Platform um die Oeffnung noch mit großen Platten von antiker Bronze bedeckt, welche **6** Fuß lang, **4 1/2** Fuß breit und **5 1/2** Linien dick sind; die Fugen laufen nach dem Mittelpunkt der Oeffnung und sind mit **3 1/4** Zoll breiten Bändern von demselben Metall bedeckt; diese Bänder sind mit Schrauben befestigt, welche verzierte Köpfe haben. Man sagt, der übrige Theil der Calotte sey ebenfalls mit Bronze bedeckt und das Ganze vergoldet gewesen.

Constantin II., oströmischer Kaiser, ließ Silber und Bronze wegnehmen, womit dieses Denkmal geziert war, und der auf diese Weise entblößte Theil der Kuppel blieb den Zerstörungen der Witterung ausgesetzt, bis ihn Benedict II. mit Blei decken ließ. Diese Decke wurde durch Nikolaus V. und Urban VIII. erneuert. Dieser letztere Papst nahm eine große Masse Bronze vom Portikus weg und verwendete sie zum bischöflichen Stuhl (Chaire) und zum Baldachin in St. Peter, so wie zu einer Kanone der Engelsburg. Die Kuppel des Pantheons ist äußerlich von der sie tragenden Kreismauer durch einen großen Sockel getrennt, der eine Einziehung von 9 Fuß bildet. Darauf folgen noch sechs Absätze (Stufen) von ungleicher Höhe, die ebenfalls zurückgezogen sind. Der obere Theil, von diesen Stufen an bis zur Platform, ist glatt, d. h. er hat die Gestalt eines Kugelabschnitts. Auf der dem Portal entgegengesetzten Seite hat man eine 3 Fuß breite Treppe angebracht, um auf die Platform gelangen zu können, welche die runde, das Gebäude erhellende Oeffnung umgiebt. Die Absätze und die Calotte sind mit Blei gedeckt, die 6 Fuß breite Platform aber, wie bereits erwähnt, mit antiken Bronzeplatten. Nach den Zeichnungen Serlio's scheint es, als ob, ehe Urban VIII. die Calotte mit Blei bedecken ließ, statt einer Treppe, deren mehrere, symmetrisch vertheilt, vorhanden gewesen seyen.

Diese Kuppel ist zum Theil in Backsteinen, zum Theil in kleinen Bruchsteinen (Blocage) aufgeführt. Die vertieften Streifen, welche die Felder umgeben, bestehen aus Backsteinen; die sichtbaren Theile und das Uebrige nebst dem Grunde der Felder aber aus kleinem Tuf- und Bimsstein.

Die Kuppel des Pantheons in Rom hat in der Gegend, wo sie die Umfangsmauer, durch welche sie getragen wird, verläßt, 16 Fuß Dicke, oberhalb der letzten Stufe aber 4 Fuß 10 Zoll und an ihrer Vereinigung mit der Platform, welche die Oeffnung umgiebt, 4 Fuß 4 Zoll.

Die Umfangsmauer, welche diese Kuppel trägt, ist 19 Fuß dick, allein es befinden sich in derselben große Nischen und viereckige Vertiefungen, welche den Inhalt auf ein Drittel reduciren, ohne die Widerstandsfähigkeit der Mauer zu schmälern; so daß also, wenn man sich aus derselben Masse eine massive Mauer denkt, diese nur 6 Fuß Dicke haben würde. Die Gestalt und Anordnung der in der Mauer angebrachten hohlen Räume sind mit vieler Kunst so combinirt, daß daraus

die größte Stärke, mit den möglichst wenigen Materialien erhalten, hervorgeht. Ungeachtet diese Umfangsmauer nur aus Füllmauer mit Backsteinbekleidung besteht, ist sie doch mit so viel Vorsicht und Einsicht erbaut, daß sie trotz der kleinen Steine, hinsichtlich der Solidität, einer aus Hausteinen errichteten gleich kommt. Zur Verhütung eines beträchtlichen und ungleichen Setzens, das eine Folge einer solchen Construction einer Mauer seyn konnte, die außer ihrem eignen Gewicht, noch ein außerordentlich großes Gewölbe zu tragen hatte, hat man: 1) Große, doppelte Entlastungsbogen (**arcs de decharge**) aus Backsteinen, jeden von 22 Zoll Höhe gemacht. 2) Bestehen die Bekleidungen aus dreieckigen, flach gelegten Backsteinen, so daß die Spitzen in das Innere der Mauer gerichtet sind und die große, etwa $10^1/_2$ Zoll lange, Seite die Stirnfläche bildet. 3) Hat man, um die Wirkung des Setzens zu vermindern und es gleichförmig zu machen von 4 zu 4 Fuß eine allgemeine Abgleichung vorgenommen, auf welche die großen, quadratförmigen, von den Italienern **tavoloni** genannten, Backsteine versetzt wurden. Diese Steine haben 22 Zoll Seite und 2 Zoll Dicke.

Die Alterthumsforscher sind über die Zeit der Erbauung dieses Denkmals nicht einig; einige setzen sie in die Zeit der Republik, andere unter Agrippa, Schwiegersohn von Augustus. Zu Gunsten dieser letzten Meinung scheinen sich zwei Gründe zu vereinigen. Erstens fingen die Römer erst zur Zeit Augustus an, gebrannte Steine zu verwenden, und dann der Umstand, daß Vitruv nichts von einem solchen Gebäude erwähnt. Es ist mehr als wahrscheinlich, daß er, wenn ein solches Gebäude zu seiner Zeit existirt hätte, in seinem Werke über Architektur, und besonders in dem Artikel über runde Tempel, nicht ermangelt haben würde, davon zu sprechen. Es ist zu vermuthen, daß dieses Gebäude erst nach Erscheinung des vitruvischen Werks und vielleicht erst nach dem Tode Vitruvs errichtet wurde.

Die Schwierigkeit, eine Kuppel von so wunderbarer Größe mit gewöhnlichen Lehrbogen zu erbauen, ließ glauben, daß man nach Vollendung der Umfangsmauer, behufs der Ausrundung der Kuppel, das Innere mit Erde ausgefüllt, und um das Volk alsdann zur Wegräumung der Erde zu vermögen, diese mit Geld vermengt habe, das denjenigen zu Theil wurde, welche die Erde wegschafften. Nach der gemeinen Meinung in Rom ist der Berg Citorio aus der Erde entstanden, welche man nach Vollendung der Kuppel aus dem Pantheon wegräumte. Diejenigen, welche diese Fabel in Umlauf brachten, erwähnen

nicht, daß der Gebrauch runder Tempel schon lange vor Erbauung des Pantheons bekannt war, und daß er sich aus den ersten Jahrhunderten der Republik herschreibt. Dies gilt von den Tempeln des Romulus und Remus, der Venus, der Vesta und andern. Es existirten demnach schon mehrere runde Tempel, als man ungefähr im vierzehnten Jahr der christlichen Zeitrechnung die Erbauung des Pantheons begann. Das erwähnte Mittel konnte bei Errichtung der ersten Kuppel angewendet worden seyn; es ist aber nicht wahrscheinlich, daß man sich seiner lange Zeit bediente, und daß man namentlich noch im Jahrhundert des Augustus Gebrauch davon gemacht habe, einer Zeit, in welcher die Baukunst schon zur Vollkommenheit gediehen war.

Die Kuppelgewölbe haben einen so großen Vorzug vor den andern, daß sie selbst ohne Lehrbogen ausgeführt werden könnten, weil, wie wir bereits bemerkt haben, jede Schichte eine Krone oder einen Kranz bildet, der die Eigenschaft hat, sich selbst zu unterstützen, sobald er vollendet ist. Streng genommen braucht man, wie Leon-Baptist Alberti bemerkt, nur einige krumm geschnittene Holzstücke, um die Theile jeder Schichte so lange zu unterstützen, bis sie geschlossen ist. Ist dies geschehen, so richtet man die Hölzer wieder für die oberen Schichten zu ꝛc.

Indessen bin ich sehr überzeugt, daß man zur Ausführung dieser großen Kuppel des Pantheons Lehrbogen von leichtem Zimmerwerk gebraucht hat, die zugleich als Gerüst dienten, und daß man auf denselben die Vertiefung der Felder en Relief angebracht hatte, wie dies auch bei dem großen Gewölbe des Schiffs der St. Peterskirche zu Rom geschah. Was mich veranlaßt, diese Meinung zu haben, ist der Umstand, daß ich in den Thermen des Caracalla und in mehreren andern antiken Gewölben, von denen der letzte Anwurf abgefallen war, Spuren von Brettern gesehen habe, welche die Ausrundung der Lehrhrbogen bildeten.

In beinahe allen alten Bädern zu Rom gab es ein kuppelförmig überwölbtes, rundes Gemach, oder auch mehrere dergleichen. Das größte von **105** Fuß Durchmesser ist das der Bäder des Caracalla. In denen des Titus gab es zwei von **80** Fuß, und in den Thermen Constantins eines von **72** Fuß Durchmesser. Die Bäder Diocletians enthielten drei Kuppelgewölbe, von denen noch zwei existiren; das eine hat **69** Fuß **5** Zoll, das andere **59** 1/4 Fuß Durchmesser. Nach den noch ganz vorhandenen, so wie auch nach solchen zu urtheilen, von denen es nur noch Reste giebt, waren alle diese Gewölbe, gleich dem

Pantheon, oben offen, und aus Bimsstein oder schwammigter Lava aus der Gegend des Sees von Albano erbaut, den man als den Krater eines alten Vulkans betrachten kann.

In dem Golf von Pouzzolo sieht man, im Hafen von Bajä, die Ruinen mehrerer Gebäude, deren zwei, die ich gemessen habe, im Inneren rund und kuppelförmig gewölbt sind. Das größte, dessen Gewölbe und Mauern zum großen Theile noch existiren, hat **91** Fuß **8** Zoll Durchmesser. Das andere, von dem nur noch die Mauern und der Anfang des Gewölbes vorhanden sind, mißt **81** Fuß **8** Zoll im Diameter. Dieses Gewölbe war, wie die antiken Gebäude Roms, in kleinen Steinen von vulkanischen Schlacken und Bimsstein aufgeführt.

Was die antiken, vor dem Jahrhundert des Augustus erbauten, Tempel betrifft, wie die des Romulus, des Quirinus, der Venus, so ist ihr Durchmesser etwa **36** Fuß; der Tempel der Sonne oder der Vesta an der Tiber hat **22** Fuß und der Tempel der Sibylle, zu Tivoli, ebenfalls **22** Fuß Durchmesser Dieser letzte ist in Mauerwerk von kleinen, irregulären Steinen, bei den alten **opus incertum** genannt, aufgeführt.

Bei den Alten ruhten die Kuppeln oder halbkugelförmigen Gewölbe nicht immer auf runden Umfangsmauern, sondern man findet deren auch auf Mauern, deren Grundriß ein reguläres Polygon bildet. So verhält es sich mit dem Tempel der **Minerva medica**, gemeiniglich Galuzzo genannt, dessen Grundriß ein in einem Kreis von **76** Fuß **8** Zoll Durchmesser beschriebenes Zehneck ist. Die noch zum Theil vorhandene Kuppel dieses Gebäudes besteht aus Backsteinen und Bimsstein. Die Theile in Backstein bilden Verzahnungen über den einwärtsgehenden Winkeln. Dies Gewölbe war im Scheitel nicht offen; das Innere wurde durch zehn Fenster erhellt, die in der Mitte der Stirnfelder des Polygons, in das die Kuppel eingeschrieben war, ihre Stelle hatten.

Man muß bemerken, daß die Gewölbe dieser Art, welche wir Klostergewölbe nennen, nur dann den Namen Kuppeln annehmen, wenn sie einen großen Durchmesser haben, und besonders, wenn sie im Aeußern in die Augen fallen, wie die Kuppel der Kathedrale Santa Maria del Fiori zu Florenz.

Die Wissenschaft der Alten beschränkte sich nicht darauf, runde und eckige Kuppeln zu erbauen, sondern sie haben deren auch mit über-

hängenden oder Strebebogen errichtet. Diese Erfindung, welche mehrere Autoren den neueren Architekten zuschreiben, gehört demnach zu den Erfindungen des Alterthums. Man findet den Beweis hiervon in einem der Säle des Umfangs der Bäder des Caracalla; der Grundriß des Saals ist ein Achteck, und man sieht noch die acht Strebebogen, welche das halbkugelförmige Gewälbe dieses Saals ergänzen. Der Vorsprung dieser, in den Ecken befindlichen, Strebebogen beträgt 2 Fuß 6 1/2 Zoll.

Zu Catania in Sicilien, in der Nähe des Bergs Sophia, findet sich der Rest eines alten Bades, mit einem sphärischen Gewölbe, das ein Vestibül deckt, und dessen Grundriß viereckig ist. Dies Gewölbe schließt sich an vier Strebebogen in den Winkeln. Obgleich es nur 7 Fuß Durchmesser hat, beweist es nichts desto weniger, daß die Strebebogen keine neuere Erfindung sind, und daß sie lange vor Anthemius von Trallis bekannt waren, dem man die Ehre dieser Erfindung zugeschrieben hat.

Kuppel der Invaliden.

Der berühmte Hordouin Mansard ließ diese Kuppel in Paris ungefähr zu derselben Zeit erbauen, als der Ritter Wreen die St. Paulskirche in London aufführte.

Der Grundriß der Kuppel der Invaliden ist ein Quadrat, in das ein griechisches Kreuz eingeschrieben ist, und in dessen vier Winkeln runde Kapellen angebracht sind. Die Kuppel erhebt sich im Mittelpunkt des griechischen Kreuzes; ihr Grundriß bildet unten ein aus vier großen und vier kleinen Seiten zusammengesetztes Achteck; in den großen sind Arkaden angebracht, welche den vier Schiffen zu Eingängen dienen. Diese Seiten haben 42 Fuß und die Arkaden 34 1/2 Fuß Breite.

Die vier kleinen Seiten bilden die Façen der Dompfeiler, und haben 24 Fuß Länge. In der Mitte einer jeden derselben hat man überwölbte, 14 Fuß breite, Durchgänge zur Verbindung mit den runden Kapellen angebracht.

Die Schiffe sind mit gekuppelten corinthischen Pilastern geziert, welche ein vollständiges Gesims tragen, das auch an den Dompfeilern fortläuft, und hier durch acht Säulen, von derselben Ordnung und Proportion, wie jene Pilaster, unterstützt wird. Diese in neuerer Zeit hinzugekommenen Säulen haben nur das Ansehen, als ob sie den über dem Gesims angebrachten Balkon tragen sollten; allein man könnte

auch glauben, der wahre Grund, weßhalb man sie gesetzt hat, bestehe darin, den großen Ueberhang der Strebebogen zu maskiren, deren Form eine Art von Wölbung ist, die von unten ein unangenehmes Ansehen haben würde. Diese vier, mit Gemälden geschmückte Strebebogen verlaufen sich in ein kreisförmiges Gesimse, über welchem sich der Thurm des Doms erhebt, dessen Durchmesser 75 Fuß beträgt. Das Innere dieses Thurms ist mit einem ununterbrochenen Säulenstuhl decorirt, über welchem sich eine Ordnung von zusammengesetzten Pilastern befindet, die ein completes Gestms tragen. Der Thurm erhält sein Licht durch zwölf Fenster, welche zwischen den Pilastergruppen angebracht sind. Etwas eignes und gegen alle Regeln der Decoration und Construction anstoßendes in dieser Anordnung besteht darin, daß sich die Fensterpfeiler (**trumeau**), d. h. die Massen, welche die Fenster trennen, genau oberhalb der Mitte der großen Arkaden befinden. Man kann sich den Grund zu einer so ungewöhnlichen und, wie es scheint, durch nichts geforderten Einrichtung nicht denken.

Der Thurm des Doms schließt sich im Inneren durch eine doppelte Kuppel mit gemeinschaftlichem Anfang. Der untere Theil stellt ein unvollkommenes, sphärisches, durch eine große kreisförmige Oeffnung beschlossenes Gewölbe vor; um diese Oeffnung ist ein Gesims, und das Uebrige des Gewölbes ist mit Gurtbogen geziert, in Felder mit Einsatzrosen getheilt, und das Ganze vergoldet. Diese Gurtbogen entsprechen jeder Pilastergruppe, und die Räume zwischen ihnen sind mit Malereien decorirt.

Der durch die Oeffnung des unteren Gewölbetheils erscheinende Theil des oberen Gewölbes ist ein überhöhtes, sphäroidisches Gewölbe; seinen Scheitel nimmt ein großer Gegenstand der Malerei ein, und der untere, durch das untere Gewölbe verdeckte Theil ist durch zwölf Kappen erleichtert, die sich dergestalt bis an die, in der äußeren Attike befindlichen Fenster erstrecken, daß die Gemälde von unten beleuchtet werden. Diese sinnreiche Beleuchtungsart, bei welcher man von unten nicht gewahr wird, woher das Licht kommt, giebt der Malerei einen erstaunlichen Glanz.

Aeußerlich besteht der Dom aus drei Theilen, nämlich einem Säulenstuhl, einem darüber befindlichen, mit corinthischen, nicht frei stehenden, Säulen decorirten Theil, und einer Attike, welche mit Pilastern geziert ist, die mit als Kragsteine abgerundeten Contreforts versehen sind.

Der Thurm des Doms ist außerhalb durch acht Vorsprünge (**avantcorps**) verstärkt, welche zu zweien ihre Stellen über jedem Dompfeiler haben.

Die äußere Abrundung der Kuppel besteht, wie die der Pauls-kirche in London, aus Zimmerwerk, das jedoch viel schwerer ist. Man sehe das Detail auf Tafel **CXXIII** und die Beschreibung Seite **157**, **166** des dritten Theils dieses Werks.

Das Aeußere der Kuppel ist mit Blei gedeckt und mit vorspringenden Seiten decorirt, welche seitdem mit Kupfer hergestellt worden sind. Die Zwischenräume, welche nicht verändert wurden, sind mit militärischen Trophäen geschmückt, worunter sich Helme befinden, die als Dachfenster zur Erhellung des Inneren des Zimmerwerks dienen. Der äußere Durchmesser dieser Kuppel beträgt an ihrem Anfang **82** Fuß und ihre Höhe bis zum Fuße der Schlußverzierung oben **53** Fuß **9** Zoll.

Dieser mit Kragsteinen verzierte Schluß hat **10** Fuß **3** Zoll; der obere Theil desselben bildet am Fuße der Laterne einen runden Balkon, dessen Höhe über dem äußeren Pflaster **233** Fuß **3** Zoll beträgt. Die Laterne hat vom Boden des Balkons bis zu dem darauf befindlichen Fußgestell **37** Fuß, und der Obelisk darüber sammt dem Kreuz **39** Fuß **6** Zoll Höhe. Die ganze Höhe dieses Gebäudes von der Spitze des Kreuzes bis zum äußeren Pflaster ist **310** Fuß.

Im Innern mißt man vom Pflaster in der Mitte des Doms bis zum Gesims der Strebebogen **82** Fuß **2** Zoll. Der darüber befindliche Thurm hat **52** Fuß Höhe; es kommen nämlich **14** Fuß auf den Säulenstuhl und **38** Fuß auf die corinthischen Pilaster einschließlich des Gesimses. Der Durchmesser des Thurms, zwischen den Pilastern genommen, beträgt **79** Fuß.

Die auf dem Gesims ruhende offene Kuppel hat **78** Fuß Durch-messer auf **28** Fuß **9** Zoll Bogenhöhe. Dies Gewölbe ist in Hau-steinen erbaut. Das zweite Gewölbe, an dessen Scheitel sich die Apotheose des heiligen Ludwigs befindet, verschmilzt sich unten mit dem vorhergehenden; seine überhöhte Wölbung bildet eine halbe Ellipse, deren große Halbachse vertikal ist und **57** Fuß beträgt; die horizontale kleine Achse ist **78** Fuß groß. Die Höhe des Scheitels dieses Gewölbes über dem Pflaster erstreckt sich auf **191** Fuß. Dies Gewölbe ist unten ebenfalls in Hausteinen, oben aber in Backsteinen ausgeführt; letzterer Theil hat **15** Zoll Dicke.

Die Construction dieses Gebäudes ist nur durch die übertriebene Dicke der Mauern und Stützpunkte merkwürdig. Die außerordentlichen Massen, welche die vier runden Kapellen in den Winkeln einschließen, verhindern, wegen der Kleinheit der Durchgänge, das Ganze des Grundrisses übersehen zu können. Sieht man von den Decorationen dieser Massen ab, so bleibt nur ein sehr schwerfälliges Gebäude übrig, welches das Ansehen hat, als ob es in einer Steinbruchmasse ausgehöhlt wäre. Um das zu rechtfertigen, was wir hier aussprechen, braucht man nur die Mauern dieses Gebäudes mit dem Flächenraum zu vergleichen, den es einnimmt. Diese Vergleichung wird zeigen, das es von Gebäuden dieser Art dasjenige ist, wobei das Material am meisten verschwendet wurde.

Bei diesem Gebäude nehmen die Mauern und andern Stützpunkte bis auf weniges zwei Siebentel der Grundfläche des ganzen Gebäudes ein; bei der Peterskirche in Rom ungefähr ein Viertel und bei der Paulskirche in London weniger als ein Viertel. Bei dem Pantheon in Rom stehen die Mauern und Stützpunkte zum Ganzen in demselben Verhältniß. Indessen muß man bedenken, daß bei diesen drei Gebäuden Mauern und Stützpunkte nur in Bruchsteinen mit Stirnflächen in Backstein oder in Haustein ausgeführt sind, wodurch Festigkeit und Widerstand sehr vermindert werden, in Vergleich mit den Mauern und Stützpunkten des Doms der Invaliden, wobei sehr harte Hausteine verwendet wurden, deren Stärke sechsmal größer ist, als die von Mauerwerk in Backstein oder gutem Bruchstein.

Bei der neuen Genovevenkirche beträgt die Grundfläche der Mauern und Stützpunkte ein Siebentel der Grundfläche des ganzen Gebäudes, welches beweis't, daß bei dem Dome der Invaliden die Hälfte zu viel an Material verwendet wurde. Dieses Uebermaß an Solidität verhindert indessen nicht, daß dies Gebäude nach der Peterskirche in Rom und der Paulskirche in London eines der schönsten dieser Art ist.

Die Getreidehalle, Figur 3, zu Paris, entworfen und ausgeführt von Le Camus, Architekt aus Mezières, besteht blos aus Säulengängen und Gallerien, die rings um einen großen Hof von 120 Fuß Durchmesser angeordnet sind. Einige Jahre nach Vollendung dieser Bauten dachte dieser gelehrte Architekt daran, den bedeckten Raum des Marktes durch eine Kuppel zu vergrößern, die man nach seinem Vorschlage auf eine eben so geistreiche als malerische Art auf zwölf Säulen errichten sollte, die mit Geschicklichkeit auf der inneren Umfangsmauer zu

vertheilen wären. Obgleich die Idee, das Gewölbe auf dieser Mauer ruhen zu lassen, in jeder Hinsicht den Vorzug verdient, so schien es uns doch, als ob das Project von Le Camus nicht nach seinem wahren Werthe gewürdigt worden sey, als nach dem Brande **1802**, welcher die Kuppel in Schreinerarbeit verzehrte, die Frage von der Herstellung der Kuppel aufs Neue in Anregung kam. Weit entfernt, das Verdienst desjenigen zu schmälern, was man jetzt an der Stelle jener Kuppel sieht, konnten wir doch dem Wunsche nicht widerstehen, die Sicherheit und Einfachheit der von dem geschickten Baumeister vorgeschlagenen Mittel, so wie die Einheit hervorzuheben, welche sie mit den andern Theilen des Gebäudes darstellten.

Tafel CLXXXVI.

Nach den antiken Kuppeln ist die der Sophienmoschee in Constantinopel eine der berühmtesten und ältesten; sie wurde vom Kaiser Justinian in den Jahren **532** bis **537** erbaut.

Der zur Zeit der Errichtung dieses Gebäudes lebende Geschichtsschreiber Procopius erzählt, der Kaiser habe von allen Seiten die geschicktesten Handwerker seines Jahrhunderts herbei kommen lassen. Anthemius von Trallis, der für den geschicktesten Architekten seiner Zeit galt, ward beauftragt, mit Isidorus von Milet die Zeichnungen zu entwerfen und den Bau zu leiten.

Das Innere dieses Gebäudes bildet ein griechisches Kreuz, das an zwei Seiten durch eine große Nische und an den beiden andern durch viereckige Wandvertiefungen geschlossen ist. In diesen letzteren sind Tribünen in zwei Etagen angebracht. Die Mitte, in der sich die vier Theile des Kreuzes vereinigen, ist ein vollkommenes Quadrat, auf dem die Kuppel von ungefähr **110** Fuß Durchmesser errichtet ist. Diese Kuppel besteht aus einer Calotte, und ruht auf vier Strebebogen, welche in den Ecken des Quadrats angebracht sind und sich in die runde Basis der Kuppel verlaufen. Die Strebebogen oder Zwickel sind durch eine Art Gesims getrennt, das eine runde Gallerie trägt. Der untere Theil der Calotte ist mit einer Reihe kleiner Fenster durchbrochen, die außerhalb mit Säulen geziert sind. Die innere Krümmung der Kuppel stimmt nicht mit derjenigen der Zwickel überein,

wie dies seyn müßte, wenn das Gewölbe regulär wäre. Statt nämlich nach einem Kreisbogen gekrümmt zu seyn, ist es eine Curve, die einer halben Ellipse gleicht. Die Bogenhöhe ist 38 Fuß, d. h. ein wenig mehr, als der dritte Theil des Durchmessers. Die äußere Rundung dieser Kuppel ist durch vier mit Blei bedeckte, ausspringende und abgerundete Seiten getheilt. Die Mitte bildet eine Schlußverzierung in Form einer Balustrade mit einem Halbmond.

Die Sophien-Moschee, sagt Grelot in seiner Reise nach Constantinopel, erhält ihr Licht durch 24 kleine und niedrige Fenster. Zwischen denselben sind Stützen oder Theile von breiten Kreisen, welche, indem sie sich verkleinern, nahe an der Mitte des Doms aufhören, und daselbst eine Rose bilden, die ehemals wahrscheinlich mit Mosaik umgeben war, wie es die 24 Kreistheile noch sind, aus denen sie besteht; allein die Türken haben sie jetzt ausgelöscht.

Diese Kuppel ist nicht mehr die von Anthemius und Isidor erbaute. Die erste, welche nicht so hoch war, wurde 21 Jahre nach ihrer Vollendung durch ein Erdbeben zerstört. Der noch lebende Justinian vertraute einem zweiten Isidor, Neffe des vorigen, die Wiederherstellung an. Dieser neue Baumeister machte die Bogenhöhe um 20 Fuß größer, und die von ihm erbaute Kuppel ist die von uns beschriebne, noch jetzt existirende. Er verwendete dazu außerordentlich leichte, weiße Backsteine, deren fünf nicht mehr als ein gewöhnlicher Backstein wiegen. Man sagt, Justinian habe diese Backsteine auf der Insel Rhodus anfertigen lassen.

Nach der Beschreibung, welche Procopius von der ersten Kuppel giebt, scheint es, als ob sie nicht viel von der gegenwärtigen verschieden gewesen wäre. Er drückt sich folgendermaßen aus:

„Die Mitte des Gebäudes besteht aus vier dicken, gleich weit von einander entfernten, symmetrisch geordneten Pfeilern, zwei auf der Süd- und zwei auf der Nordseite. Zwischen den Pfeilern, welche die mittägige und nördliche Seitenface bilden, sind auf jeder Seite noch vier Säulen. Die Pfeiler bestehen aus großen, ausgewählten Steinen, deren Seitenflächen polirt und deren Fugen so fein sind, daß die Pfeiler nur aus einem einzigen Felsenstück gehauen zu seyn scheinen. Diese Pfeiler sind dergestalt durch große Bogen vereinigt, daß auf jedem die Anfänger von zwei Bogen ruhen; die Scheitel dieser Bogen erheben sich zu einer erstaunungswürdigen Höhe. Die Mitte des östlichen und westlichen Bogens ist leer; die beiden andern enthalten

ein Säulenfüllwerk, über welchem in großer Höhe eine runde Oeffnung zur Einlassung des Lichts angebracht ist."

Da Procopius kein Architekt war, so zweifelt er, die Gewölbe der Kuppel gehörig beschreiben zu können. Obgleich er sich keiner Kunstausdrücke bedient, so macht er sich doch verständlich. Man kann ihm nur zu viel Enthusiasmus und Uebertreibung vorwerfen. Er sagt: „Zwischen den vier großen Bogen befinden sich vier dreieckige Gewölbetheile, deren unterer spitzer Theil zwischen den, auf einem und demselben Pfeiler ruhenden Anfängern der großen Bogen liegen. Die darüber errichtete Kuppel zeigt von einer Kühnheit, welche Zweifel an ihrer Solidität erregt. Statt auf darunter befindlichen Werken zu ruhen, scheint sie vielmehr mittelst einer goldnen Kette am Himmel zu hängen. Alle diese mit vieler Kunst vereinigten Theile bilden ein wundervolles Ganze, das man nicht ohne angenehmes Erstaunen betrachten kann.»

Später sagt er: „Justinian und Anthemius wandten verschiedene Mittel an, um dieses Gebäude dauerhaft zu machen." Da er eingesteht, sie nicht alle zu kennen, begnügt er sich, eins derselben mitzutheilen, das, wie er sagt, genügen wird, die andern zu beurtheilen und eine Idee von der Solidität des ganzen Werks zu geben.

„Die dicken Pfeiler sind nicht wie das Uebrige des Gebäudes construirt; sie bestehen, wie bereits erwähnt wurde, aus großen, sehr harten Steinen. Diese Steine sind weder mit Mörtel noch mit Erdharz geebnet, wie die Mauern der Semiramis zu Babylon, sondern mit geschmolzenem Blei.»

Trotz aller dieser Vorsichtsmaßregeln ereignete sich ein Zufall, der die Architekten in Bestürzung versetzte. „Der große östliche Bogen war noch nicht vollendet, als die Lehrbogen, auf denen er ruhte, anfingen, sich zu senken und mit dem Einsturz zu drohen. Anthemius und Isidor, an ihrer Kunst verzweifelnd, meldeten diesen Unfall dem Kaiser. Justinian, der keine Kenntnisse in der Baukunst hatte, befahl ihnen, wie durch eine Eingebung Gottes, den Bau des Bogens fortzusetzen und versicherte, derselbe werde sich, wenn er fertig sey, von selbst ohne Gerüste tragen.» Dasselbe ereignete sich bei dem südlichen und nördlichen Bogen.

„Als alle Gewölbe fertig waren, fing der untere Theil der Kirche unter dem Gewicht der Last gleichsam zu zittern an. Die Säulen, welche einen Theil derselben trugen, warfen allen Mörtel ab, als wenn

er abgekratzt worden wäre.» Neuer Kummer für die Architekten. »Sie kehrten zum Kaiser zurück, um ihm abermals Bericht zu erstatten. Er fand alsbald das Heilmittel; er ließ nämlich die Säulen wegnehmen, welche unter den Lehrbogen trugen, und sie erst wieder aufstellen, als aller Mörtel ganz trocken war und das Werk seine ganze Wirkung gethan hatte.»

Dieser letzte Unfall, welcher sich an der Sophienkirche ereignete, hat überall statt gehabt, wo man mit den soliden Bautheilen zugleich die feinen Werke ausführen wollte, die nur eines geringen Drucks fähig sind. Dasselbe ist zu unseren Zeiten bei dem Wiederaufbau des Portals der heiligen Kreuzkirche (**Sainte-Croix**) zu Orleans geschehen. Man wollte die kleinen Säulen, welche eine Gallerie um das Eingangsvestibul bilden sollten, zu frühe setzen, d. h. ehe die großen Bautheile vollendet waren. Das unvermeidliche, durch die Vermehrung der Last herbeigeführte Setzen verursachte das Zerbrechen jener kleinen Säulen und man war genöthigt, sie wegzulassen. Die gothischen Baumeister, welche viele, mit den soliden Theilen ihrer Gebäude sehr contrastirende Werke der Art ausgeführt haben, hatten die Vorsicht, sie nicht eher anzubringen, als bis die großen Massen ganz vollendet waren.

Es ist also nicht zum Verwundern, daß die Säulen, welche den großen südlichen nnd den nördlichen Bogen der Sophienkirche ausfüllten und von denen Procopius redet, nach der Vollendung der großen Gewölbe überladen waren, und daß sie anfingen, sich auf ihren Unterlagen zu setzen. Man kann sagen, daß Justinian sehr klug handelte, die Theile der Säulen und Pfeiler, welche unter den Lehrbogen der Gewölbe trugen, so lange wegnehmen zu lassen, bis das unvermeidliche Setzen der großen Theile des Gebäudes statt gefunden hatte. Dies ist immer der Augenblick, in welchem die großen Gebäude auf dem Punkte stehen, beendigt zu werden, und wo ihr Gewicht sich auf ihre Stützpunkte vertheilt. Dadurch entstehen die großen Wirkungen, welche diejenigen in Schrecken versetzten, welche in der Baukunst nicht ganz erfahren waren.

Was das geschmolzene Blei betrifft, welches in die Fugen der Pfeiler der Sophienkirche statt des Cementes gegossen wurde, so kann man sagen, daß diese zuweilen angewendete Praxis mehr kostspielig, als nützlich ist: **1**) Wegen der Schwierigkeit, die Fugen nach ihrer ganzen Ausdehnung auszugießen. **2**) Weil nicht alle Steinarten die Hitze des geschmolzenen Bleis vertragen können, ohne zu zerspringen,

so wie diejenige Wärme, welche man den Steinen geben muß, damit sich das Blei gleichförmig ausbreitet. 3) Weil sich das Blei unter der Last zusammendrückt, so lange es in den Fugen bleibt, wodurch die Wirkung des Setzens ohne Ende verlängert wird und äußerlich Nähte bildet, die man wiederholt wegnehmen muß. Ich habe Gelegenheit gehabt, diese Wirkung bei isolirten Säulen zu bemerken, die aus mehreren Trommeln bestanden, unter welche man rund ausgeschnittene Bleiplatten gelegt hatte.

Der einzige Gebrauch, den man vom Blei machen könnte, möchte der seyn, sich seiner bei Constructionen in Hausteinen mit Mörtel statt hölzerner Keile zu bedienen, wenn die Steine eine große Last zu tragen haben, weil sich das Blei unter der Last in dem Maße ausdehnt, als der Mörtel sich senkt und Consistenz annimmt, während die hölzernen Keile widerstehen und Sprünge verursachen.

Eine andere Eigenheit des fraglichen Gebäudes besteht darin, daß man bei demselben, um es gegen Brand zu schützen, kein Holz zu den Dächern verwendete, sondern sich statt der Ziegel großer Marmorplatten bediente.

Die Kuppel der Sophienkirche verdankt ihre Berühmtheit nur der Zeit, in der sie erbaut wurde, und weil sie den Architekten, die seit jener Zeit Gebäude dieser Art aufführten, zum Muster diente. Obgleich die Details dieses Gebäudes einen schlechten Geschmack verrathen, kann man doch nicht umhin, zu gestehen, daß die innere Anordnung etwas Großes hat, und daß der Mechanismus seiner Construction für die Zeit ziemlich gut begriffen ist.

Tafel CLXXXIX.

Kuppel der Santa Maria-del-Fiore zu Florenz.

Die Kathedrale zu Florenz wurde im Jahr 1288 durch den florentinischen Architekten Arnolph begonnen; ihr Grundriß ist ein lateinisches Kreuz. Ihre Länge beträgt 75 Toisen 3 Fuß 4 Zoll, die Breite am Kreuz 52 Toisen 1 Fuß 6 Zoll; die Eingangsseite, welche in drei Schiffe getheilt ist, hat 19 Toisen 5 Fuß 10 Zoll Breite; die Höhe des Hauptschiffes ist 23 Toisen 5 Fuß 6 Zoll und die der beiden Seitenschiffe 15 Toisen 8 Zoll. Die Mitte des Kreuzes bildet ein

reguläres Achteck, dessen Durchmesser zwischen zwei einander gegenüberliegenden Seiten **21** Toisen **2** Fuß **4** Zoll, d. h. **128** Fuß **4** Zoll, unten mißt. Dieses ganze große Gebäude ist in Hausteinen erbaut und das Aeußere beinahe ganz mit Marmor bekleidet. Der Grundriß dieser von Arnolph entworfenen Kirche bietet zwei so verschiedene Theile dar, daß man Mühe hat, zu glauben, er sey das Werk eines einzigen Architekten. Man sollte nicht denken, daß beide Theile in einer und derselben Epoche ausgeführt worden seyen. Der Grundriß der drei großen Eingangsschiffe hat ganz die Leichtigkeit des neueren Gothischen, während der Fond, das Chor, das Kreuz und seine beiden Arme begreifend, ganz das Schwerfällige des Altgothischen zeigt. Man muß annehmen, daß Arnolph, dessen Absicht war, die Mitte des Kreuzes durch eine große Kuppel zu decken, glaubte, die Widerlager, welche diese Kuppel tragen sollten, nicht stark genug machen zu können. Indessen war diese Kuppel lange nicht so beträchtlich, als die seitdem von Bruneleschi erbaute. Das ganze Gebäude sollte einerlei Dachhöhe haben, d. h. sie sollte von außen nicht sehr in die Augen fallen. Als Arnolph **1300** starb, waren erst drei der Bogen fertig, welche die Kuppel tragen sollten. Nach seinem Tode wurden die Arbeiten bis **1420** unterbrochen und von Bruneleschi wieder angefangen. Dieser geschickte Architekt, den man mit Recht als den Wiederhersteller der guten Architektur betrachtet, hatte zwanzig Jahre an einem Project zu einer Kuppel gearbeitet, die viel größer war, als die von Arnolph entworfene. Nach vielen Widersprüchen wurde er endlich bestimmt mit der Ausführung seines Projectes beauftragt. Während der zwanzig Jahre, die er mit der Erbauung dieser Kirche beschäftigt war, ließ er auf den großen, schon von Arnolph angefangenen Bogen, die große noch existirende Kuppel errichten und den sie tragenden achteckigen Thurm, dessen Façen mit acht runden Fenstern durchbrochen sind. Die Mauern dieses Thurms haben **16** Fuß Dicke, und das ihn beschließende Gesims befindet sich in einer Höhe von **165** Fuß **10** Zoll; auf diesem Gesimse endlich ruht die berühmte doppelte Kuppel, welche dieses Gebäude krönt.

Das äußere Gewölbe ist unten **7** Fuß **4** Zoll dick, und das innere **4** Fuß **4** Zoll. In den Winkeln und gegen die Mitte der Façen sind Contreforts erbaut, welche die beiden Gewölbe vereinigen. Der Durchmesser der inneren Kuppel beträgt zwischen den entgegengesetzten Façen **130** Fuß; ihre Höhe vom inneren, den Thurm beschließenden Gesims bis zur Oeffnung der Laterne **125** Fuß. Diese

Kuppel bildet acht einspringende Winkel und acht Flächen, welche sich nach Maßgabe ihrer Erhebung verjüngen, und sich mit derselben Gestalt, als die Basis hat, an einer Oeffnung schließen, welche den inneren Raum der Laterne bildet. Der Bogen dieser Kuppel ist außerordentlich überhöht, und die Kuppel ist eine Art gothischen Gewölbes, ähnlich dem des ungefähr zu derselben Zeit erbauten Doms zu Mailand.

Diese Art von Gewölben ist am leichtesten auszuführen; deßhalb fand sich Bruneleschi veranlaßt, die Kuppel ohne Lehrbogen zu erbauen. Sein Vorhaben schien so ungewöhnlich, daß man ihn für einen Narren erklären wollte. Es ist zum Erstaunen, daß die Erbauung dieser Kuppel so viel Lärm gemacht hat, zu einer Zeit, wo deren schon mehrere existirten, wie die der Sophienkirche in Constantinopel, zu Ravenna, der St. Markuskirche zu Venedig, der Kathedrale zu Pisa. Es ist wahr, daß diese Kuppeln nicht doppelt sind, und daß sie keinen so großen Durchmesser haben; allein man kann sagen, daß die Ausführung letzterer leichter war, weil sie sich ganz einfach auf geraden Mauern ohne Strebebogen erhebt; außerdem zeigt ihre Construction viel Kunst und Intelligenz. Bruneleschi verwendete die größte Aufmerksamkeit darauf, und man kann selbst sagen, daß er sie übertrieb. Unten am Anfang der beiden Kuppeln brachte er in ihrem Zwischenraume eine kranzförmige Verankerung von starkem Zimmerwerk an, um der Wirkung des Gewölbes gegen die dasselbe tragende Umfangsmauer zu begegnen. Er hielt diese Vorsicht trotz der **16** Fuß betragenden Dicke dieser Mauer für nothwendig. Diese Mauer bildet ein, durch die Construction so gut verbundenes, reguläres Vieleck, daß sie unabhängig von jenem Kranze fähig wäre, eine viel größere Wirkung auszuhalten, als diejenige ist, welche die beiden Gewölbe sammt der Laterne hervorbringen können. Die Risse, welche man an allen Kuppeln bemerkt, deren Stützpunkte isolirt oder von einander getrennt sind, rühren eher von der Ungleichheit des Setzens, als von der Wirkung der Gewölbe her. Kränze oder Armaturen jener Art können diese Wirkungen nicht verhindern; aber es giebt Umstände, unter denen sie von großem Erfolge für die Vereinigung der durch irgend einen Zufall getrennten Theile sind. Siehe, was im dritten Theil Seite **313** bis **319** über diesen Gegenstand gesagt ist.

Kuppel der Paulskirche in London.]

Diese Kuppel ist nach der Kuppel der Peterskirche in Rom die größte und prächtigste von allen, die jemals ausgeführt wurden. Sie

findet ihre Stelle im Mittelpunkte eines herrlichen Tempels, der im Jahre **1670** nach den Zeichnungen und unter der Leitung des berühmten englischen Architekten und Mathematikers, Ritters Wreen, angefangen, und **1720** beendigt wurde. Der Grundriß dieses Gebäudes ist eine Art von Kreuz, das aus vier Schiffen zusammengesetzt ist. Das Eingangsschiff und das gegenüberbefindliche sind sehr lang, die beiden anderen Schiffe sind dagegen sehr kurz. Alle diese Schiffe haben Seitenschiffe und Arkaden, deren Pfeiler auf der Seite der Schiffe mit corinthischen Pilastern verziert sind. In der Mitte der vier Schiffe erhebt sich die Kuppel. Ihr Grundriß ist ein reguläres Achteck von **42** Fuß Seite; vier dieser Seiten werden von den großen Arkaden eingenommen, welche die Oeffnungen der Schiffe bilden. Der Durchmesser dieser Bogengänge beträgt **37** Fuß **6** $^1/_2$ Zoll auf **78** Fuß Höhe.

Die vier andern Arkaden haben dieselbe Größe, allein sie sind nur blind; man hat darin große Nischen von **26** Fuß **3** Zoll Durchmesser und **41** Fuß **6** Zoll Höhe angebracht. Der untere Theil dieser Nischen ist von zwei, einen rechten Winkel bildenden, Bogengängen von **13** Fuß **2** Zoll Breite auf **36** Fuß Höhe durchbrochen, welche den Abseiten der zwei anstoßenden Schiffe correspondiren. Diese sinnreiche Disposition verschafft sehr interessante Durchgänge und verdankt vielleicht ihre Entstehung dem Grundriß der Kuppel der Kathedrale Santa Maria-del-Fiore zu Florenz. Wie dem aber auch sey, so muß man sagen, daß diese Anordnung viel glücklicher ist, als die mit abgestutzten Ecken, die man bei beinahe allen neueren Kuppeln angenommen hat. Sie hat mehr den Vortheil, eine solidere, aus acht, statt vier, Stützpunkten bestehende, Basis zu bilden und weniger vorspringende Strebebogen zu haben.

Bei der Paulskirche laufen die acht Strebebogen in einen Kreis zusammen, dessen Durchmesser kleiner ist, als der des Achtecks, das durch die großen Bogen und ihre Widerlager gebildet wird; letzterer hat **101** Fuß **4** Zoll, während der des Kreises **98** Fuß **3** Zoll beträgt.

Die Strebebogen sind mit einem completten Gesims gekrönt, das mit Kragsteinen von **7** Fuß **9** Zoll Höhe verziert ist.

Der Thurm des Doms ist nicht, wie bei andern Monumenten dieser Art, auf dem Frieß jenes Gesimses errichtet, sondern **3** $^1/_2$ Fuß rückwärts, so daß der Fuß des Thurms **105** Fuß **4** Zoll Durchmesser hat. Diesen Zwischenraum von **3** $^1/_2$ Fuß nehmen zwei Stufen und ein Absatz ein, auf den man sich setzen kann; vornen ist ein eisernes

Geländer, das auf dem Vorsprung des Gesimses steht. Die obere Fläche dieses Gesimses hat 92 Fuß 3 Zoll Höhe über dem Pflaster.

Die Höhe des Thurms, von der oberen Fläche des erwähnten Absatzes an, beträgt bis zum Anfang der inneren Kuppel 58 Fuß 9 Zoll. Die Mauer dieses Thurms ist, statt vertikal zu seyn, um 4 Fuß 8 Zoll nach innen geneigt, d. h. um etwa ein Zwölftheil der Höhe. Diese Einrichtung, welche bei gewöhnlichen Gebäuden ein Fehler seyn würde, wurde von dem Architekten ersonnen, um den Widerstand des Thurms gegen die vereinigten Wirkungen des großen inneren, die Kuppel bildenden, Gewölbes und des die Laterne tragenden konischen Thurms zu vermehren.

Das Innere des Domthurms ist mit einem ununterbrochenen Säulenstuhl decorirt, auf dem sich eine Ordnung, gleich weit von einander entfernter, und mit vollständigem Gesims gekrönter, corinthischer Pilaster erhebt. Die 32 Zwischenräume zwischen den Pilastern werden von 24 Fenstern und acht großen Nischen eingenommen. Das Aeußere bietet eine aus 32 corinthischen Wandsäulen bestehende Colonnade dar; die Säulen haben denselben Zwischenraum als die Pilaster im Inneren und correspondiren ihnen. Mit der Thurmmauer sind sie durch acht Massen verbunden, in denen runde, hohle Räume für Treppen und Durchgänge angebracht sind. Die Säulen eines jeden der, drei Säulenweiten betragenden, Räume zwischen diesen massiven Massen sind mit dem Thurme durch Mauersporne verbunden, die als Strebepfeiler dienen, und in welche Bogen gebrochen sind, damit man außerhalb um den Thurm gehen kann. Diese Anordnung bringt sowohl im Inneren als im Aeußeren, eine reguläre Decoration und eine außerordentlich solide Construction hervor, die fähig ist, den Wirkungen der Kuppel und des die Laterne tragenden kegelförmigen Thurms zu widerstehen. Die äußere Colonnade ist mit einem vollständigen Gesimse mit sparrenkopfförmigem Karnieß bedeckt, auf dem sich ein Geländer befindet. Hinter diesem Geländer ist eine Terrasse, deren Breite durch die Einziehung der Attike gebildet wird und von dem Inneren des Geländers an 12 Fuß beträgt.

Ueber der inneren Ordnung erhebt sich das große Kuppelgewölbe von 96 Fuß Durchmesser an den Anfängern und 51 Fuß Bogenhöhe, daher es ungefähr 3 Fuß überhöht ist. Der Scheitel dieses Gewölbes ist mit einer, 19 Fuß weiten, runden Oeffnung durchbrochen, um welche sich ein 6 Fuß breiter, mit doppeltem Geländer umgebener

Gang zieht. Die Kreismauer, welche äußerlich den Uebersatz bildet, entspricht der Mauer des Thurms. Die Höhe dieser Attike beträgt von der Balustrade an bis unter das Karnieß, welches sich an ihrem Ende befindet, **21** Fuß. Es sind darin **24** viereckige, mit einem Simswerk verzierte, Fenster angebracht, welche Contreforts bildende Pilaster zwischen sich haben.

Ueber dieser Attike befinden sich zwei Absätze, welche die Rundung der äußeren Kuppel tragen. Diese Rundung besteht aus, mit Blei bedecktem, Zimmerwerk, das mit ausspringenden und in Form von Eierleisten (godrons) abgerundeten Seiten decorirt ist. Diese Kuppel schließt sich oben durch eine Verzierung, die sich mit dem Fuße der Laterne vereinigt, und darüber einen runden Balcon von **258** Fuß Höhe über dem inneren Pflaster bildet.

Der untere Theil der Laterne besteht aus einem **8** Fuß **6** Zoll hohen Säulenstuhl; der obere ist mit einer corinthischen, auf einem Sockel errichteten, Ordnung decorirt und mit deren Gesims gekrönt; das Ganze hat **18** Fuß Höhe. Die darüber befindliche Attike ist **11 1/2** Fuß hoch, und darauf ruht eine kleine Kuppel in Holz; diese vier Theile haben einen achteckigen Grundriß mit vier ausspringenden Grundmauern. Der innere Durchmesser ist **11** Fuß und der äußere, an den Grundmauern gemessen, **20** Fuß.

Die kleine hölzerne Kuppel hat **12** Fuß Höhe bis zur Schlußverzierung; das Fußgestell darauf **8** Fuß, die Kuppel **6** Fuß Durchmesser und das Kreuz **12** Fuß Höhe, so daß der sichtbare Theil der Laterne vom Balcon bis an das Ende des Kreuzes in Allem **76** Fuß, das Ganze demnach vom Pflaster der Kirche an **334** Fuß Höhe hat.

Die Laterne wird innerhalb durch eine Art konischen Thurms getragen, der sich mit einem sphärischen Gewölbe schließt. Dieser Thurm fängt auf der Höhe der in dieser Gegend befindlichen äußeren Balustrade an. Er ist mit der inneren großen Kuppel vereinigt und fängt nur **8** Fuß darüber an, sich davon zu trennen. Die senkrechte Höhe desselben beträgt **81 1/2** Fuß, und seine Kreismauer macht mit der Vertikallinie einen Winkel von **24** Grad; ihr äußerer Durchmesser ist unten **94** Fuß, und **32** Fuß oben am Anfang des Gewölbes, womit der Thurm geschlossen ist. Diese Mauer hat **1 1/2** Fuß Dicke, und ist in Backsteinen mit kreisförmigen, durch Klammern gehaltene Schichten von Hausteinen erbaut.

Das den Thurm schließende Gewölbe ist im Scheitel mit einer 8 Fuß im Durchmesser habenden runden Oeffnung und mit acht halbrunden Fenstern durchbrochen, die ihr Licht von außen, durch das Zimmerwerk des Doms hindurch, erhalten.

Die Mauer des Thurms wird durch vier Reihen Fenster erleichtert, welche das Innere des Zimmerwerks erhellen. Der Fuß dieses Thurms ist durch 32 Mauersporne verstärkt, die nach dem Mittelpunkt gerichtet sind, und zwischen der Mauer der Attike, die sich über der äußeren Colonnade befindet, und der Mauer erwähnten Thurms liegen.

Die Sporne dienen auch als Grundmauer, um den Werksatz des Zimmerwerks vom Dome zu tragen. Dies Zimmerwerk besteht aus 32 halben Dachstühlen, die einerseits auf dem Aeußeren des kegelförmigen Thurms ruhen, und an der andern Seite gekrümmt sind, um die Rundung des Doms oder der äußeren Kuppel zu bilden. Es folgt aus dieser Anordnung, daß das ganze Gewicht dieses Zimmerwerks und seines Bleidaches zur Befestigung des konischen Thurms dient. Mit Ausnahme dieses Zimmerwerks ist das ganze Gebäude in Backsteinen aufgeführt, und mit Steinen von Portland bekleidet. Dieser Stein ist weiß und beinahe eben so hart als Marmor.

Das Detail, in welches wir hinsichtlich der Kuppel der Paulskirche in London eingegangen sind, beweist, daß der gelehrte Architekt, der sie entwarf und ihren Bau leitete, ihr unabhängig von der Schönheit der Formen, auch alle mögliche Solidität zu geben suchte, deren ein Denkmal dieser Art fähig ist. Er erreichte diesen Zweck dadurch: 1) Daß er den Thurm des Doms auf acht Pfeiler, statt auf vier, errichtete, um die Abweichung der Strebepfeiler von der senkrechten Lage zu vermindern. 2) Daß er das Innere dieses Thurms rückwärts der Strebebogen und nicht vertikal in seiner Höhe errichtete, um der Wirkung der Gewölbe durch diejenige Wirkung das Geichgewicht zu halten, welche der Thurm sowohl durch seine Masse, als durch jene Disposition nach dem Innern äußert. 3) Daß er den Thurm durch Grundmauern und Contreforts verstärkte. 4) Daß er den konischen Thurm aufführte, die steinerne Laterne zu tragen, deren Gewicht ihm zu beträchtlich erschien, als daß er es hätte wagen sollen, sie auf eine doppelte steinerne Kuppel von so großem Durchmesser zu erbauen. 5) Daß er alle Mittel anwandte, die im Stande waren, diejenigen Stellen zu befestigen und zusammen zu halten, an denen die größten Wirkungen statthaben mußten.

Man kann indessen nicht umhin, zu bemerken, daß Ritter Wreen, statt des konischen Thurms, von einem überhöhten Gewölbe hätte Gebrauch machen können, um das fehlerhafte Knie zu vermeiden, das bei dem Zusammentreffen der inneren Mauer des Domthurms mit der des konischen Thurms entstand. In der Gegend dieses Knie's muß eine viel beträchtlichere Wirkung entstehen, als es bei einem überhöhten, kreisrunden, elliptischen oder parabolischen Gewölbe der Fall gewesen wäre.

Man hätte sich auch des Zimmerwerks zur äußeren Ausrundung des Doms überheben können, indem man ein leichtes Gewölbe mit einer, von unten nach oben, abnehmenden Dicke erbaut hätte, wie dies bei der neuen Genovevenkirche geschehen ist.

Tafel CLXXXXV.

Fig. **46** und **47**. Grundriß und Durchschnitt der öffentlichen Halle (loge) des Palastes von Brescia. Obgleich dies Gebäude an und für sich von geringer Wichtigkeit ist, so verdient es doch, wegen der Streitigkeiten, die sich einige Jahre nach seiner Vollendung über seine Dauerhaftigkeit erhoben haben, einen Platz in der Geschichte der Kunst. Die Lectüre der verschiedenen, unter diesen Umständen kund gewordenen, Meinungen ist heutzutage von großem Interesse, indem sie dazu beiträgt, den Geist über den Zustand mehrerer doctrineller Punkte zu einer Zeit zu fixiren, worin, unter einem andern Gesichtspunkt, die Architektur einen so hohen Grad von Vollkommenheit erreicht hatte.

Unter den Fragen, welche durch die öffentliche Sorge erhoben wurden, ist unstreitig diejenige die interessanteste, welche die Solidität der Gewölbe betrifft. Es kam zuerst darauf an, zu entscheiden, ob die Pfeiler, auf denen die Mauern des Gebäudes ruhten, hinreichende Stärke und Dicke hätten, um die Last auf angemessene Art zu tragen und zusammenzuhalten. Zweitens wünschte man zu wissen, ob die auf diesen Pfeilern und auf vier in der Mitte der Halle angebrachten Säulen ruhenden Gewölbe nicht in Gefahr wären, einzustürzen. Wir begnügen uns, hier die Meinung des unter andern zu Rathe gezogenen berühmten Architekten Andreas Palladio mitzutheilen [1]).

1) Siehe Memoire intorno alle publiche fabriche più insigne della cita di Brescia, racolte da Baldassare Zamboni, archiprete di Calvisano. Brescia, 1778.

„Hinsichtlich der Widerlager, drückt er sich aus, sagen wir, daß es für jeden erfahrnen Architekten klar ist, daß jedes Gebäude alle Solidität hat, welche zu einer langen Dauer desselben nöthig ist, wenn die Widerlager, worauf es errichtet ist, eine Dicke haben, die dem dritten Theile des Bogens im Lichten gleich ist, den sie spannen. Betrüge aber diese Dimension die Hälfte jener Weite, so könnte man einem solchen Gebäude mit aller Sicherheit eine Dauer für alle Zeiten hindurch garantiren. Da nun die fraglichen Widerlager genau dieses letzte Verhältniß haben, so läßt sich nicht zweifeln, daß sie die erforderliche Stärke haben, um die darauf ruhende Last zu tragen, und dies um so mehr, als diese Last nach dem Inneren der Mauern größer ist, als nach ihrem Aeußeren. Diese Disposition trägt sehr viel zur Dauerhaftigkeit der Gebäude bei, und ist die günstigste von allen."

„Was die inneren Gewölbe betrifft, welche auf diesen Widerlagern und den Säulen der Mitte ruhen, so scheint es uns, daß der Architekt ihnen ein passendes Verhältniß gegeben hat, und daß die Stütze, welche sie an so starken Widerlagern finden, mehr als hinreichend ist, die Wirkung auszuhalten, die der in einem Gewölbe beständig zu sinken strebende Scheitel auf die unteren Theile ausübt. Wenn aber eine dergleichen Wirkung zu fürchten seyn sollte, so müßte man erst zugeben, daß sich jenes Segment in eine Ebene ausdehnen könnte, welches nicht möglich ist, ohne daß die Mauern wenigstens um eine halbe Elle (also um eine Viertelelle auf jeder Seite) nach außen gedrückt würden, und folglich auch mit ihnen die ganze Last, welche sie tragen. Es müßte also die Wirkung des geringeren Gewichts (welches hier das Gewicht dieses Bogentheils mit den Personen ist, die sich darauf befinden könnten) die eines größeren Gewichts übertreffen, welches aus den Pilastern, den Mauern, welche sie tragen, und dem Dache des Gebäudes zusammen hervorgeht; dies ist offenbar unmöglich, daß nämlich ein kleineres Gewicht in einem viel größeren eine Bewegung hervorbringen könne. Hieraus ergiebt sich, bis zu welchem Punkt eine Besorgniß hinsichtlich des Einfallens dieser Gewölbe gegründet ist."

Figur 48 zeigt die Form, welche nach Palladio dem Rücken eines Gewölbes zu geben ist. Diese Figur ist aus den Commentarien von Daniel Barbaro zu den zehn Büchern Vitruvs über Architektur entnommen, und wird von B. Zamboni als eine Anwendung der Regeln bezeichnet, die Palladio in Bezug auf diesen Gegenstand

vorgeschlagen habe, als er wegen des Doms zu Brescia zu Rathe gezogen worden sey [1]).

„Hier folgt, sagt dieser gelehrte Architekt, nach welchen Data's das Profil dieser Kuppel construirt werden müßte. Seine größte Dicke muß gerade an den Kämpfern seyn; von hier wird das Aeußere bis auf ein Viertel des Durchmessers vertikal in die Höhe gehen. Diese Anordnung hat den Vortheil, an dieser Stelle die Wirkung des vertikalen Drucks zu vermehren, und so das Gewölbe an seinem Anfange solider erhalten. Oberhalb dieser Mauer muß die Dicke des Gewölbes bis zum Fuß der Laterne abnehmen, um in dieser Gegend die Last so viel als möglich zu vermindern. Die Höhe und Breite der Laterne bestimmen sich, wie die Figur zeigt, durch ein gleichseitiges Dreieck, das über dem Durchmesser der Kuppel construirt wird. Die Stufen, welche sich außerhalb am Anfange des Gewölbes auf der, auf den Kämpfern errichteten, Mauer befinden, vermehren noch die Solidität, weil das Gewicht ihrer Masse genau in die Breite des Grundrisses fällt, auf dem die Kuppel ruht. Uebrigens bietet diese Kuppel, obgleich einfach und ohne Schmuck, von selbst die befriedigendste Decoration dar.“

Tafel CLXXXXVI, CLXXXXVII u. CLXXXXVIII.

Details des Doms der St Genovevenkirche.

Wir haben schon früher auseinandergesetzt, auf welche Weise die Dompfeiler bis zur dritten Schichte über dem Gesimse der inneren Säulenordnung erbaut wurden, und wollen nun mit dem Detail der oberen Construction fortfahren. Die Arbeiten dieses Theiles begannen wieder im Jahr **1776**. Während dieses Jahrs wurden die vier großen Arkaden gewölbt, welche den Dom mit den Schiffen verbinden, und ferner die vier Strebebogen ausgeführt, die sich an die Kreisform des Inneren des Thurms anschließen. Dieser ganze Theil ist mit Sorgfalt in hartem Stein ausgeführt worden; die Lager und Fugen wurden nicht scharf behauen, sondern bloß gepickt, alle Füllsteine mit Mörtel

---

1) Siehe den Anhang zu Zamboni's schon angeführtem Werke.

versetzt. Der Steinschnitt wurde so angeordnet, daß die Gewölbsteine der Bogen sich mit denen der Strebebogen vereinigen, und daß die Wirkungen dieser beiden Gewölbearten sich aufzuheben streben.

Jede der fraglichen Arkaden besteht aus zwei concentrischen Bogen von verschiedenem Durchmesser; der eine Bogen hat **2** Fuß **8** Zoll **9** Linien, der andere **2** Fuß **9** Zoll **6** Linien sichtbare Dicke, welches für die ganze Dicke der Arkade **5** Fuß **6** Zoll **3** Linien beträgt.

Der erste Bogen entspricht den Pilastern, welche das Aeußerste der Dompfeiler bilden und der zweite den Wandsäulen, welche an diese Pilaster stoßen. Durch diese Disposition ist es leicht einzusehen, (Nr. **25** und **26**, Tafel **CLXXXXVI** und **CLXXXXVII**), daß die Widerlager des ersten Bogens nach ihrer ganzen Ausdehnung durch Massen befestigt sind, von denen sie einen Theil ausmachen, statt daß die Wandsäulen, über welche der andere Bogen hervorsteht, sich an diese Massen nur auf eine Breite von **11** Zoll anlehnen, woraus hinter diesen Säulen ein nicht vertikal unterstützter Theil von **22 1/2** Zoll folgt, der sich durch Vorsprünge anschließt.

Der Grund zu dieser über die eigentlichen Pfeiler ausgedehnten Dicke der Arkaden lag darin, daß man das Innere des Thurms mit einer Säulenordnung zieren wollte, indem man die Mauer des Thurms **3** Fuß **4** Zoll weiter zurückzog, als die innere Pfeilerwand. (Siehe Nr. **42** und **43** der Tafeln **CLXXXXVI** und **CLXXXXVII**). Da die Dicke dieser Mauer zu **3** Fuß **4** Zoll angeordnet war, so hätte man, um den Fuß des Domthurms etabliren zu können, die Dicke der Arkaden **6** Fuß **7** Zoll statt **5** Fuß **6** Zoll **3** Linien machen müssen; da aber eine Dicke von **6** Fuß **7** Zoll nur gegen die Mitte des Bogens nöthig war, so hat man sie durch vier Vorsprünge ergänzt, deren letzter einen Theil der kreisförmigen Schichte bildet. Dies ist die Grundmauer, auf welcher das Innere des Doms errichtet ist (**3**. Plan, Tafel **CLXXXXVI**); sie stellt sich im Grundriß als eine nach außen eckige, nach innen kreisrunde massive Masse dar. Nr. **34** zeigt den Theil des Bogens an, welcher der Masse der Pfeiler entspricht; Nr. **35** denjenigen, welcher über die Säulen Nr. **12** überhängt. Durch Nr. **36** hat man den Vorsprung von der Form eines Kreisabschnitts angezeigt, welcher mit den Vorsprüngen Nr. **103**, Tafel **CLXXXXVII** zusammenläuft.

Die äußeren, oberhalb der Dompfeiler befindlichen Winkel dieser Grundmauer sind durch vier Strebepfeiler verstärkt, die an den

entgegengesetzten, durch die Umfangsmauern gebildeten, Winkeln anfangen. Einer dieser Strebepfeiler ist im 3. Plan Tafel CLXXXXVI durch Nr. 38 bezeichnet; man sieht, daß man, um einen größeren Theil des Winkels der äußeren Mauern zu umfassen, zwei runde, mit Nr. 39 bezeichnete, Theile angebracht hat, welche sich an die Mauern Nr. 19 anschließen. Außerdem ist der äußere einspringende Winkel durch die abgestutzte Ecke Nr. 18 verstärkt. Nr. 39 zeigt auch die Art, auf welche jene runden Theile an die Mauern stoßen und sich oben endigen. Siehe 4. Plan Tafel CLXXXXVI und Figur 1, Tafel CLXXXXVIII. In Figur 38, Tafel CLXXXXVII sieht man den Durchschnitt eines dieser Strebepfeiler.

Um die erste Grundmauer des Aeußeren des Doms (siehe Nr. 37, Tafel CLXXXXVI und CLXXXXVIII) zu unterstützen, wurden vier große Bogen von 95 Fuß 5 Zoll Durchmesser auf 31 Fuß 10 Zoll 6 Linien Bogenhöhe erbaut. Diese nach der Kettenlinie geformten Bogen fangen in denselben Winkeln an, als die Strebepfeiler (Nr. 19, Tafel CLXXXXVI), jedoch 10 Fuß 6 Zoll tiefer; sie sind, so zu sagen, eine Verlängerung der äußeren Mauern, die ihnen als Widerlager dienen; um die Grundmauer des Domthurms bilden sie ein Quadrat, dessen innere Winkel von vier großen Strebebogen eingenommen werden, die sich an die runde Gestalt anschließen; auf diese Weise unterstützen diese Bogen den Säulenstuhl, worauf die äußere Colonnade ruht. Die eben erwähnten Strebepfeiler gehen durch die Mitte der Strebebogen, welche sich bis an die äußeren Flächen der inneren Grundmauer in ein hängendes Gewölbe verlängern. Diejenigen Theile, welche der Mitte dieser Bogen entsprechen, sind durch zwei Kappen erleichtert, die sich als Kreuzgewölbe schneiden.

Zur Krümmung der großen Bogen und der dazu gehörigen Strebebogen hat man die Kettenlinie gewählt, weil diese Gestalt sich am besten für Gewölbe eignet, welche, wie das fragliche, nur als Constructionsmittel dienen sollen, und weil diese mit den Widerlagern einen Winkel von 141 Grad bildende, Krümmung einen großen Theil der Last auf die Länge der Umfangsmauer wirft.

In allen Planen oder Grundrissen zeigt Nr. 37 die Entwickelung dieser Bogen und ihre Lage in Bezug auf die inneren und äußeren Grundmauern, so wie gegen die Umfangsmauern an, wie man dies im 3. und 4. Plan, Tafel CLXXXXVI und in den Figuren 1 und 2 der Tafel CLXXXXVII sieht.

In Figur 1, Tafel CLXXXXVIII drückt Nr. 37 die Façe der Hälfte eines dieser Bogen sammt dem Fugenschnitt aus. Man bemerkt, daß gegen die Seiten hin ein Theil dieser Schnitte in der Art gebrochen ist, daß dadurch noch die Belastung des Winkels, wo sie beginnen, vermindert wird. Diese Vorsicht war um so nöthiger, als diese Bogen bei der Erbauung durchbrochen waren.

Auf derselben Tafel zeigt Nr. 37, Figur 2, die Vereinigung von zwei dieser Bogen an ihrem Anfang; deßgleichen sieht man unter Nr. 40 den von jenen Bogen eingeschlossenen Strebebogen sammt Fugenschnitt. Nr. 38 zeigt den Durchschnitt eines der Strebepfeiler an der Stelle, wo er den eben erwähnten Strebebogen durchdringt.

Oberhalb des durch den verlängerten Strebebogen gebildeten Gewölbetheils läuft eine runde Gallerie herum, die einerseits durch die, in dieser Höhe äußerlich die runde Form annehmende Mauer des Domthurms, anderseits durch die Mauer des äußeren runden Säulenstuhls gebildet wird. Man hat diese Gallerie als hängendes Gewölbe gebaut, um die Mauer des Doms zu verstärken, und um die auf den Strebebogen ruhende Mauer des Säulenstuhls zu erleichtern, wurden darin bogenförmige Vertiefungen angebracht, welche in dem hängenden Gewölbe Kappen bilden.

In die Mauer des Domthurms sind zwölf Thüren mit Stufen gebrochen, um Communikationen mit eben so viel Tribünen herzustellen, welche zwischen den Füßen, der das Innere des Doms schmückenden, Säulen angebracht sind, und von denen schon die Rede war.

Die erwähnte Gallerie ist in vier Theile durch Massen getheilt, welche sich oberhalb der Dompfeiler befinden. In diesen Massen befinden sich runde Treppen, die zu den oberen Theilen des Doms führen. Dies sind freiliegende Wendeltreppen, deren Stufen mit, zur Handhabe profilirten, Wangen versehen sind; der untere Theil der Stufen bildet eine Fläche nach der Neigung der Treppe überhaupt.

In dem 4. Plan oder Grundriß und in den Durchschnitten der Tafel CLXXXXVII zeigen die Nr. 45 zwei Theile dieser Gallerien, 41 die erwähnten Massen und 44 die darin angebrachten Treppen an; die 3 Fuß 3 Zoll dicke runde Mauer des Doms ist durch 42, die Thüren aber, welche zu den mit 47 bezeichneten inneren Tribünen führen, sind durch 46 angezeigt.

Der 5. Plan, Tafel CLXXXXVI zeigt die Disposition der Säulen, welche das Innere und Aeußere des Doms schmücken, sammt den Peristylen. In diesem Grundriß sowohl, als auch in den Durchschnitten

der Tafel **CLXXXXVII** zeigt **41** die Massen oberhalb der Dompfeiler an, **42** die Dicke der Mauern hinter den Säulen, **43** die Säulen im Inneren, **44** die Treppen in gedachten Massen, **47** die inneren Tribünen. In dem mit **48** bezeichneten Theil befindet sich keine Tribüne. Die Nr. **97** zeigen die Fenster an, durch welche der Domthurm erhellt wird; **98** sind blinde Fenster, die den Massen und Pfeilern des Doms entsprechen; die Säulen des äußeren Peristyls sind mit **50** und der Fußboden desselben ist mit **55** bezeichnet. In dem Durchschnitt Figur **1**, Tafel **CLXXXXVII**, sieht man das Profil der Wasserrinne und des Gangs, der zwischen dem Sockel der Säulen herumführt.

Die äußeren Domsäulen bestehen bis über das Stäbchen aus hartem Stein; sie sind um **18** Linien nach dem Inneren eingezogen, um ihnen zur Unterstützung der darauf ruhenden Gesimse und der Balustrade mehr Solidität zu verschaffen. Die Mauer des Domthurms besteht, von der Unterstützung der Fenster an, gleich den inneren Säulen, aus Steinen von Conflans. Alle Steine wurden ohne scharfe Behauung versetzt, und zwar auf Bleikeile, welche fähig sind, dem Eintrocknen des Mörtels zu folgen.

Die Dicke des Gesimses ist, wie Buchstabe **V**, Tafel **CLXXXXVII** zeigt, oberhalb jeder Fensteröffnung durchbrochen.

Die Kapitäle der äußeren Säulen und das Gesims bis zur Hohlkehle sind aus Stein von Conflans; die Hohlkehle aber und die darüber befindliche Balustrade aus hartem Stein.

Die Architrave sind nach dem nämlichen System ausgeführt, als die des Portals und der inneren Schiffe, mit einer, in den Fugen der Steine befindlichen, doppelten Reihe von **T**, die mit Eisenstangen verbunden sind, welche unabhängig von den mittleren, in den Achsen der Säulen sich vereinigenden Stangen oder Anker sind. Außerdem wird die Mitte der Architrave noch durch Bügel unterstützt, welche durch Anker in den ersten Gewölbsteinen der darüber befindlichen Bogen, welche Erleichterungen bilden, gehalten werden.

Das flache Gewölbe, welches den Plafond des Peristyls bildet, besteht ebenfalls aus Stein von Conflons, und ist aus Reihen von Steinen zusammengesetzt, welche mit der Mauer des Doms concentrisch sind; darüber sind doppelte Ziehbänder, welche dies Gewölbe mit der Mauer des Thurms stark verbinden.

Die über diesem flachen Gewölbe in der Höhe des Gesimses angebrachte Gallerie (s. Nr. **51**, **56**, **59**, Tafel **CLXXXXVII**) ist

nach einem hängenden Bogen überwölbt und mit Kappen versehen, welche durch die Erleichterungen oberhalb der Architrave gebildet sind. Da dieses Gewölbe unter einer Terrasse liegt, so hat man es in Stein von Vergelé ausgeführt. Es befinden sich darin doppelte Ziehbänder, die in Form eines V so geordnet sind, daß sie auf der Seite der Kappen zweien Ankern und auf der Seite des Doms einem Anker entsprechen.

Die Mauer des Doms ist durch bogenförmige Vertiefungen verdünnt, deren Fond sich an den Fuß der ersten inneren Kuppel anschließt. Dieser Fond hat wenig Dicke und bildet im Grundriß einen Kreisbogen, welcher dem des Inneren des Doms entgegengesetzt ist; die Steine jeder Schichte sind doppelt keilförmig zugehauen, so daß sie die Wirkung der Kuppel auf die Massen übertragen, welche die Bogen trennen. Diese Vertiefungen sieht man im Grund- und Aufriß unter Nr. **57** und **58** der Tafeln **CLXXXXVI**, **CLXXXXVII**.

Die erste innere Kuppel beginnt **18** Zoll über der Sohle erwähnter Gallerie; sie ist aus Stein von Conflans nach horizontalen Schichten aufgeführt, und vom Fuße der Fenster der Attike an abgerundet. Hier befindet sich eine Art Platform, welche durch vier Treppen in eben so viel Theile getheilt ist; diese Treppen liegen vor jenen Fenstern, und correspondiren denjenigen, welche in den darunter befindlichen Mauermassen angebracht sind.

In dem **7**. Plan der Tafel **CLXXXXVI** und in den Durchschnitten auf Tafel **CLXXXXVII** ist diese erste Kuppel mit **65** bezeichnet; **66** zeigt ein kleines Trottoir an, das um die Oeffnung dieses Gewölbes läuft und bestimmt ist, die Ansicht des Inneren zu verschaffen. Man gelangt auf einer kleinen Treppe dahin, welche auf dem Rücken des Gewölbes angebracht ist. Nr. **67** zeigt die Dicke der Stützmauer, geschnitten unter dem Karnieß, und **68** das Obere dieses, die Oeffnung beschließenden Karnießes an.

64 zeigt die Platform um die Fenster der Attike am Fuße der Kuppel und **96** diese Fenster selbst.

63 bezeichnet die Treppen, **42** die Mauer der Attike, welche die Fortsetzung der Mauer des Domthurms ist, und welche seit dessen Erbauung ihre Dicke behalten hat. Die mit **62** bemerkten dickeren Theile begreifen die ersten Gewölbsteine des Zwischengewölbes, dessen Zweck war, die Laterne, und später das den Dom schließende Couronnement zu tragen.

In demjenigen Theil dieses Grundrisses, welcher das Obere der Terrasse bezeichnet, welche die äußere Colonnade des Doms deckt, sind durch Nr. **69** die Deckplatten angedeutet, welche Absätze bilden; **70** zeigt die aus einem Stück bestehenden steinernen Sparren an welche die Vertikalfugen decken; die Nr. **71** bezeichnen die Wasserröhren, durch **72** wird die steinerne Wasserrinne, durch **73** das Trottoir an der Balustrade und durch **74** das Obere dieses Geländers angedeutet.

Das Zwischengewölbe beginnt unter der Sohle der Platform, welche innerhalb der Fenster der Attike herumläuft; sein innerer Durchmesser in dieser Gegend beträgt **65** Fuß **8** Zoll, und seine Höhe bis an den Schlußstein **47** Fuß. Da dies Gewölbe an seinem Scheitel ein beträchtliches Gewicht tragen und glatt abgerundet seyn sollte, so hat man es nach der Kettenlinie als derjenigen Form gewölbt, welche diesen Forderungen am meisten angemessen ist.

Um den unteren Theil dieses Gewölbes, auf den eine Apotheose in einem leuchtenden Himmel gemalt werden sollte [1]), zu erhellen, hat man daran vier große Lünetten oder Kappen von **35** Fuß Höhe auf **29** Fuß untere Breite angebracht. Jede dieser Lünetten entspricht dreien Fenstern der Attike, welche viel Licht in das Innere werfen.

Es war nothwendig, die unteren, durch erwähnte Lünetten geschwächten Theile dieses Gewölbes zu verstärken. Zu dem Ende hat man sie durch Wangen und durch Balcons, in der Höhe des Anfangs der äußeren Kuppel angebracht, mit der attischen Mauer verbunden. Diese Balcons, welche unten Wölbungen bilden, schließen sich durch runde Theile an die Lünetten, ungefähr in der Mitte der Höhe derselben. Durch dieses Hülfsmittel sind die unteren, zwischen den Lünetten befindlichen Theile des Gewölbes so fest verbunden, als ob keine Unterbrechung zwischen ihnen stattfände, und als wenn die Lünetten nur oberhalb des Bodens des Balcons geöffnet wären.

Das Zwischengewölbe ist in horizontalen Schichten ganz aus Stein von Conflans ausgeführt; die vollen Theile zwischen den Lünetten correspondiren den Dompfeilern. Von der eben erwähnten Sohle des Balcons an sind zwei entgegengesetzte Treppen angebracht, welche auf die Platform am Scheitel dieses Gewölbes führen. Diese Treppen sind von hartem Stein und dienen zugleich als Strebemauern; unten schließen sie sich an einen Ruheplatz, der von einer doppelten Rampe

---

1) Siehe 2. Band, Seite 195.

getragen wird. An jeder der beiden andern Seiten, wo sich keine Treppen befinden, ist der Rücken des Gewölbes durch eine vorspringende Rippe oder einen Streifen von derselben Breite verstärkt.

Auf der Platform, welche dieses Gewölbe beschließt, ist ein runder, unten von acht Arkaden getragener, Thurm errichtet. Im Inneren desselben führt eine große, freiliegende Treppe auf den Balcon um das äußere Piedestal und in das im Inneren angebrachte kleine Observatorium [1]).

Die große äußere Kuppel besteht aus Stein von Vergelé; sie ist im Inneren durch nischenförmige Aushöhlungen erleichtert, die in vier Reihen, jede zu **16** Nischen, angebracht sind; sie sind halb so breit als ihre Zwischenräume, und ihre Tiefe ist der halben Dicke des Gewölbes gleich. Dies Gewölbe ist mit großer Sorgfalt ausgeführt, und der Schluß der Nischen verdient besonders bemerkt zu werden.

Ungefähr vier Fuß über der Sohle des inneren, um den Fuß dieses Gewölbes laufenden Balcons sind in der Mitte jeder Vertiefung der ersten Nischenreihe kleine Fenster oder Lichter von **2** Fuß Breite auf **10** Zoll Höhe angebracht.

Das Blei, womit dieses Gewölbe gedeckt ist, besteht aus horizontalen Streifen, so daß die Intervallen zwischen den Rippen sowohl, als diese selbst, mit einer einzigen Platte bedeckt sind. Diese Platten rollen sich in den von den Rippen gebildeten Winkeln um eine eiserne Leiste, welche daselbst befestigt ist; unten werden sie durch platte eiserne Haken gehalten, die mittelst Mastix eingekittet sind. Oben sind sie mit eigends geschmiedeten Nägeln mit breiten Köpfen befestigt. Diese Nägel sind durch eine etwa **6** Zoll betragende Ueberdeckung der horizontalen Streifen verborgen.

---

1) Die Rechnungen, welche vom Verfasser behufs der Anwendung der Theorie auf die Gewölbe der St. Genovevenkirche angestellt und Seite 330 bis 334 mitgetheilt wurden, gelten für den Zeitpunkt der Bekanntmachung dieser Beschreibung (1797). Wir haben uns aller Veränderungen im Text und in den Figuren enthalten. Das Piedestal, von welchem hier die Rede ist, war bestimmt eine, die Göttin des Ruhmes, oder die Fama (la Renommée) vorstellende, 25 Fuß hohe Figur von Bronze aufzunehmen. Die nach den Zeichnungen Soufflots construirte Laterne, welche sogleich nach ihrer Vollendung zerstört wurde, trat an deren Stelle. Seitdem ist die Sache wieder auf den ersten Zustand gebracht worden.

Die Nummern des 8. und 9. Plans, Tafel CLXXXXVI und die correspondirenden Durchschnitte auf Tafel CLXXXXVII zeigen die verschiedenen Theile an, von denen so eben die Rede war. So bezeichnet Nr. **75** im Grundriß die Form der Aushöhlungen und der Rippen auf der äußeren Kuppel; **76** ist die Rinne, welche unten herumläuft; **78** sind die kleinen Lichter in den unteren Nischen; **79** bezeichnet den inneren Balcon, welcher den unteren Gewölbetheilen entgegenwirkt; **80** den oberen Theil dieses letzten Gewölbes; **81** sind die Pfeiler der über dem Scheitel des Gewölbes errichteten Arkaden; **82** ist die Sohle der Platform, welche die nach dem äußeren Balcon führende Treppe trägt; **83** zeigt die Rippen der großen Kuppel und **84** die Zwischenräume an; **85** ist der Balcon um das den Dom schließende Fußgestell, **88** bezeichnet die kleine Kuppel, **87** die daran befindlichen Stufen oder Absätze, **89** das in dem Fußgestell angebrachte kleine Observatorium und **90** die kleinen Fenster, welche dasselbe erhellen.

Ende der nachträglichen Bemerkungen.

Inhalts-Verzeichniss

des vierten Bandes.

Neuntes Buch.

Theorie der Constructionen.

Seite.

Die Kunst zu bauen aus der Vereinigung von Theorie und Praxis. 1. — Irrthum Derjenigen, welche diese Kunst nur in der einen oder andern Hinsicht betrachtet haben. 1. — Die Resultate der Theorie als Auflösungen betrachtet, welche immer den materiellen Umständen beim Bauen untergeordnet sind. 2. — Erklärung des Wortes Theorie. 2. — Die von Vitruv gegebene Erklärung dieses Wortes ist eher auf Kunst als auf Wissenschaft anwendbar. 2. — Entwickelung des Begriffes von Theorie durch den Verfasser in Bezug auf die Kunst zu bauen. 3. . . 1 — 4

Erste Abtheilung.

Lehrsätze der Mechanik.

Erstes Kapitel.

Von dem Parallelogramm der Kräfte.

Erklärung der Mechanik. 5. — Jede in schiefer Richtung wirkende Kraft kann in zwei andere Kräfte, wovon die eine in horizontaler und die andere in vertikaler Richtung wirkt, zerlegt werden, indem man dieselbe ihrer Richtung und Größe nach als die Diagonale eines rechtwinkligen Pgrallelogramms betrachtet. 6. — Zwei Kräfte werden zu einer einzigen zusammengesetzt, indem man die Diagonale eines Parallelogramms bildet, dessen anliegende Seiten jene Kräfte sind. 9. . . . . 5 — 9

Zweites Kapitel.

Von den Hebeln.

Seite.

Unterscheidung der drei Hebelsarten. 10.— Bei dem Hebel der ersten Art ist der Stütz- oder Drehpunkt zwischen Kraft und Last. 10. — Der Hebel der zweiten Art ist ein solcher, bei welchem die Last sich zwischen dem Stützpunkt und der Kraft befindet. 10. — Bei dem Hebel der dritten Art ist die Kraft zwischen der Last und dem Stützpunkt, und Kraft und Last wirken nach entgegengesetzter Richtung. 10. . . . . 10 — 12

Drittes Kapitel.

Von dem Schwerpunkte.

Den Schwerpunkt zu bestimmen. 13. — Nothwendige Kenntniß des Schwerpunktes, um den Widerstand, die Wirkungen und den Grad der Stabilität bei den Bautheilen zu bestimmen. 14. — Von dem Schwerpunkt der Linien. 14. — Von dem Schwerpunkt der Flächen. 15. — Von dem Schwerpunkt der Körper. 17. — Von dem Schwerpunkt der unregelmäßigen Körper. 21. . . 13 — 22

Viertes Kapitel.

Von der geneigten Ebene.

Sobald eine Ebene nicht mehr horizontal ist, haben die darauf gelegten Körper das Bestreben zu gleiten, zu rollen oder umzustürzen. 23. — Neigung einer Ebene, bei welcher der Liaisstein und der polirte Marmor zu gleiten anfangen. 23. — Ein Verfahren zur Bestimmung der Kraft, welche zum Aufhalten eines runden Körpers auf einer geneigten Ebene nöthig ist. 24. — Ein Mittel zur Bestimmung desjenigen Widerstandes, den man Reibung nennt und welcher von der rauhen Beschaffenheit der geneigten Ebene und der Körperflächen herrührt. 25. — Wird ein Körper von zwei Ebenen gehalten, so vertritt die eine die Stelle der Kraft, welche ihn auf der andern im Gleichgewicht erhält. 25. . . . . 23 — 26

Zweite Abtheilung.

Fortschaffung der Materialien.

Erstes Kapitel.

Von den Maschinen zum Fortschaffen der Lasten.

Erster Artikel. — Von dem Hebel. 27. — Der Hebel ist die einfachste unter allen Maschinen. 27. — Im Zustand des

Seite.

Gleichgewichts verhält sich die Kraft zur Last wie umgekehrt ihre Abstände von dem Stützpunkte. 28. — Wirkung des Hebels an einer Welle, um diese zu drehen. 28. — Bei allen Arten von Maschinen verhält sich stets die Kraft zur Last oder zur erzeugten Wirkung wie umgekehrt die zurückgelegten Wege. 29. . . . . 27 — 29

Zweiter Artikel. — Von den Winden. 29. — Verschiedene Benennungen dieser Maschine in der älteren und neueren Zeit. 29. — Anwendung der Winden zum Aufrichten und Fortschaffen der größten Lasten. 29. — Die Winden verdienen immer den Vorzug, wenn große Lasten aufzurichten oder aufzuziehen sind, weil die dabei angestellten Arbeiter keiner Gefahr ausgesetzt sind. 29. — Verschieden eingerichtete Winden. 30. — Eine Bemerkung über die Gefahr, welche daraus entsteht, daß man bei den gewöhnlichen Erdwinden die Kabeltaue von Zeit zu Zeit anhalten muß. 31. — Von der in Rom gebräuchlichen und von diesem nachtheiligen Umstand befreiten Erdwinde. 32. — Beschreibung eines von Herrn Cardinet, Ingenieur-Geographen, erdachten Mittels zur Erreichung desselben Zweckes. 32. — Von der Reibung der Taue, welche um Wellen oder Cylinder geschlungen sind. . . . . 29 — 36

Dritter Artikel. — Von den Rollen und Flaschen. 36. — Feste Rollen zur Abänderung der Kraftrichtung. 37. — Von den losen an die Last befestigten Rollen, welche der Bewegung der Last folgen. 37. — Gewöhnliche Flaschenzüge, aus zwei Flaschen, jede mit drei Rollen, bestehend. 38. — Unbequemlichkeiten bei ihrem Gebrauch. 38. — Flaschenzüge aus zwei Flaschen, jede mit neun Rollen versehen. 39. — Die Vortheile dieser Zusammensetzung sind nur scheinbar, da sie durch die Reibung und durch die Menge des dabei verwendeten Tauwerks vermindert werden. 39. — Flaschenzüge aus Flaschen von zwei Rollen. 40. — Vorzüge derselben vor den früher angeführten. 40. — Flaschenzüge, welche aus zwei eisernen Flaschen bestehen, von denen die obere vier Rollen und die untere deren drei — alle von gleichem Durchmesser — enthält. 40. — Größe der Reibung bei dieser Zusammensetzung. 40. — Verbindung von Rollen, die einerlei Durchmesser haben und dazu dienen, Lasten von einer gewissen Länge aufzuziehen. 41. — Regeln zur Bestimmung der Dicke der Rollen und der Stärke ihrer Achsen im Verhältniß zum Durchmesser derselben, der Flaschenweite und der von jenen zu tragenden Last — von 5 bis 25 Zoll Durchmesser. 41. . . . . 36 — 44

Vierter Artikel. — Von den Seilen in Bezug auf ihre Anfertigung. 44. — Die am meisten beim Bauwesen gebräuchlichen Seile sind: die Leinen, Stricke, Lenkseile,

Seite.

Rüsttaue, kleinen Kabeltaue, Hebezeugtaue (Kabeltaue) und Kübelseile. 45. — Prüfungen, mit den vier stärksten Kabeltauen angestellt, welche bei Erbauung der Genovevenkirche gebraucht worden sind. 45. — Ein Verfahren zur Bestimmung der Stärke der Seile von verschiedener Dicke. 46. — Tabelle der mittleren und reduzirten Stärke der Seile im Vergleiche mit ihren Durchmessern. 47. . . . . 44 — 48

Zweites Kapitel.

Von den Maschinen zum Aufziehen der Lasten.

Erster Artikel. — Beschreibung des Polyspastos und Trispastos der Alten, nach Vitruv. 49. — Großes Hebezeug, dessen Welle durch ein Sprossenrad umgedreht wird. 50. — Verbindung zweier Hebezeuge, wodurch beträchtliche Lasten ohne Rüsttaue aufgezogen werden können. 50. — Ein dergestalt eingerichtetes Hebezeug, daß man die Hebebäume wegnehmen kann, ohne daß sich die Last senkt. 50. — Beschreibung eines Hebezeugs, das einer Ramm-Maschine gleicht. 50. . . . . 49 — 51

Zweiter Artikel. — Erster bei der Genovevenkirche angewendeter Krahn. 51. — Bemerkungen, welche von dem Verfasser bei dem Gebrauch dieser Maschine gemacht worden sind. 51. — Gründe für das Aufgeben dieser Maschine bei Erbauung des Domes. 52. — Krahn, bei der medizinischen Schule angewendet. 54. — Vorzüge der Trommel- (Tret-) und Sprossenräder vor dem Getriebe, welches durch eine Kurbel in Bewegung gesetzt wird. 55. — Neuer Krahn mit beweglichem Krahnbalken, von dem Verfasser für die Erbauung des Doms der Genovevenkirche angegeben. 56. — Beschreibung des neuen Krahnes. 58. . . . . 51 — 62

Dritte Abtheilung.

Fundamentirung der Gebäude.

Die Fundamente als der wesentlichste Theil der Gebäude betrachtet. 63. — Vorsichtsmaßregeln zur dauerhaften Gründung eines Gebäudes. 63. — Ein von den Alten in dieser Hinsicht angewendetes Verfahren, nach Vitruv. 64. — Beispiel einer antiken Terrassenmauer, welches aus der Stadt Adrienne bei Tivoli entnommen ist. 71. . . . . 63 — 71

Erstes Kapitel.

Von den Fundamenten in schlechtem Grund.

Seite.

Erster Artikel. — Erfahrungen über die Kraft des Stoßes der Körper in Bezug auf das Feststampfen von preßbarem Grund. 72. — Die verschiedenen Arten der Constructionen als eine Verbindung schwerer Körper betrachtet, welche sich wechselseitig in einem über dem Gleichgewicht befindlichen Zustand der Ruhe erhalten. 72. — Das Setzen und der Druck sind die beiden Hauptursachen, welche ein Gebäude zu zerstören streben. 72. — Das Setzen des Bodens. 73. — Gedanken über das Festmachen des Bodens, indem man ihn mit einer Ramme stampft. 74. — Versuche über die Stoßkraft der Körper, mit dem Dynamometer des Herrn Regnier angestellt. 75. — Tabellen, welche in Meter und Fuß die verschiedenen Höhen angeben, von welchen ein Körper fallen muß, damit die Stoßkräfte eine arithmetische Reihe bilden, deren Differenz dem Gewichte dieses Körpers gleich ist. 77. — Beispiele zur Anwendung dieser Tabellen. 84. — Eine Bemerkung über die Vorsprünge, welche man an dem Fuß der Mauern und Stützpunkte anbringt. 85. . 72 — 86

Zweiter Artikel. — Fundamente auf leichtem und lockerem Grunde. 86. — Vortheile des Bodenstampfens vor dem Pfahlrost. — Das Zusammenpressen der Erde, welches im Anfang durch das Einschlagen des Pfahlrostes entsteht, verursacht später ein Setzen durch seine Wirkung auf den benachbarten Boden. — Ein Setzen des Bodens, welches zum Voraus durch das Stampfen desselben bewirkt wird. 86

Dritter Artikel. — Von den Fundamenten auf Trieb- oder Quellsand. 96. — Die bei den Römern bekannte und angewendete Fundamentirung durch Einschließung im Sand und chlechten Grund. 87. — Umständliche Beschreibung der Fangdämme. 87. — Neue Art von Einfassungsdämmen, welche von Herrn Tardif, Brücken- und Straßenbaumeister, erfunden sind. 88. — Anwendung dieses Verfahrens bei Erbauung des Schachtes, welcher zu dem unterirdischen Gang, dem Tunnel, unter der Themse bei London führt. 90. . . . . 86 — 90

Vierter Artikel. — Von den Fundamenten auf Thonboden. 90. — Der Rost von Zimmerholz ist als das beste Mittel zum Gründen auf Thonboden bekannt. 90. — Fundamentirung der Seilerbahn zu Rochefort, auf jene Art von dem großen Blondel ausgeführt. 90. — Der Rost von Zimmerholz schickt sich ebenfalls zu Gründungen auf Torf. 91. — Erfolgreiche Anwendung dieser Methode auf Schlamm- und Sumpfboden. 91. —

Seite.

Vorsichtsmaßregeln bei dieser Bodenart. 91. — Gebrauch und Bestimmung der Grundpfähle bei dem größten Theil der neuesten Constructionen. 92. . . . . 90— 92

Fünfter Artikel. — Dicke der Fundamente. 92. — Anweisungen von Vitruv, Palladio, Scamozzi, Philibert Delorme in Bezug auf die den Grundmauern zu gebende Dicke. 92. — Die von Mansard bei Gründung des Doms der Invaliden befolgte Regel. 92. — Die Fundamentdicke muß eher im Verhältniß der Belastung als der Mauerdicke seyn. 92. — Ein von L. B. Alberti vorgeschlagenes Mittel zur Verbindung der Fundamente mehrerer getrennter Stützpunkte. 92. — Ansicht dieses Schriftstellers in Bezug auf den Nutzen der Baufundamente. 92. — Ein beschlagener Balken statt der Rammе zum Feststampfen des Bodens. 93. . . . . 92— 94

Zweites Kapitel.

Von den Fundamenten in gutem Grunde.

Feste Bodenarten zu Baufundamenten. 95. — Prüfungen, welche von Bullet vorgeschlagen worden sind, um die Dichtigkeit des Baugrundes zu erkennen. 95. — Art, die erste Fundamentschichte zu legen. 95. — Verband von Grundquadersteinen, unter die Stützpunkte und diejenigen Theile gelegt, welche am meisten belastet sind. 96. . . . . 95— 96

Drittes Kapitel.

Von den Fundamenten auf Felsen oder Steinmassen.

Vorsichtsmaßregeln gegen Unterhöhlungen und ungleiche Mächtigkeit der Massen. 97. — Unfälle bei der Fundamentirung der Kirche von Val-de-Grâce zu Paris. 97. — Die Unebenheiten des Felsenbodens durch Bänke in eine horizontale Ebene gebracht. 98. — Trocken versetzte Grundquadersteine bis zur Höhe der allgemeinen Ausgleichung. 98. — Fundamentirung durch Kasten in den Vertiefungen des Felsenbodens. 98. — Fundamentirung vermittelst isolirter und durch Bogen verbundener Stützpunkte, von den Römern bei mehreren Gelegenheiten angewendet. 98. . . . . 97 — 98

Viertes Kapitel.

Von den Fundamenten im Wasser.

Seite.

Erster Artikel. — Gründung der Hafendämme im Meer, nach Vitruv. 99. — Bemerkungen über die verschiedenen Erklärungen des Textes von Vitruv. 102. — Arbeiten dieser Art, zu Dünkirchen, Cherbourg und Toulon ausgeführt und von Belidor beschrieben. 103. — Ein von dem Verfasser vorgeschlagenes Verfahren zur Bestimmung der Dicke der Fangdämme im Verhältniß zur Wasserhöhe und der Festigkeit der Erde oder des Thones, welche zu den Ausfüllungen verwendet werden. 105. — Die Trapezform beim Profil der Fangdämme ist vortheilhafter als die des Rechtecks. 106. — Die Dicke des Fangdammes muß im Verhältniß seiner Länge und seiner mehr oder weniger dem Andrang der Wellen ausgesetzten Lage vermehrt werden. 106. . . . . 99—106

Zweiter Artikel. — Von den Grundpfählen, den Rosten von Zimmerholz und den Kasten. 106. — Ansicht Belidor's über das Berühren der Grundpfähle und Roste. 106. — Umstände, unter welchen von den Römern die Grundpfähle angewendet wurden. 106. — Betonschichte, welche von ihnen statt des Holzbelegs gebraucht wurde. 106. — Die Fundamentirung auf Rost und Grundpfählen ist in Holland sehr gebräuchlich. 106. — Bemerkungen über die Unzweckmäßigkeit dieses Verfahrens. 107. — Das Verfahren der Alten wird noch an den Küsten des mittelländischen Meeres angewendet. 108. — Bereitungsart des Betons für die Dämme des neuen Binnenhafens zu Toulon. 109. — Aehnlichkeit dieser Bereitungsart mit dem Signinum, oder dem hydraulischen Mörtel der Alten, nach Vitruv. 111. — Von den mittelst Holzeinfassungen oder großen Kasten von Zimmerstücken gebauten Hafendämmen. 111. — Kasten, zur Gründung der Westmünster-Brücke verwendet. 112. . . . . 106—114

Dritter Artikel. — Von den Fundamenten im Wasser mittelst des Steinwurfes. 115. — Beispiele der Anwendung dieses Verfahrens bei den Alten zur Gründung der Hafendämme und anderer isolirter Bauten im Meere. 115. — Schicklichste Gestalt und Einrichtung bei Anlegung dieser Werke. 115. — Größe und Form der Steine, ausgehend von der untersten Schichte, welche auf dem Holzrahmen liegt. 115. — Einfluß der Strömung in den Flüssen auf die Gründung mittelst des Steinwurfes. 115. — Nothwendige Beschleunigung bei Ausführung dieser Arbeiten. 116. — Zeitraum, welcher zwischen der Beendigung dieser Werke und der Anlegung der Fundamentirung zu beobachten ist. 116. . . . . 115—116

Vierte Abtheilung.

Stabilität und Stärke der Mauern und Stützpunkte.

Erstes Kapitel.

Von den Regeln in Bezug auf die Stabilität.

Seite.

Die Stabilität der Mauern und Stützpunkte hängt vorzüglich von dem Verhältniß ihrer Grundfläche zu ihrer Höhe ab. 117. — Verschiedene Dicke eines Pfeilers, bestimmt nach dem verschiedenen Grad der Festigkeit der Materialien, so daß er dieselbe Stärke bei einer gegebenen Belastung hat. 117. — Durchmesser der als Stützpunkte angewendeten Säulen im Verhältniß zu den Materialien, aus denen sie bestehen können, und mit der Rücksicht, daß sie einen gleichen Widerstand bei einer Belastung von einer Million Pfund leisten. 118. — Beispiele von Constructionen, deren Abmessungen nach jenen Berechnungen bestimmt zu seyn scheinen. 119. — Säulen der Kirche Saint-Toussaint zu Angers. 119. — Speisesaal der Abtei Saint-Martin-des-Champs zu Paris. 120. — Vortheile dieser Constructionsweise in gewissen Fällen in Bezug auf Oekonomie. — Betrachtungen über die den Mauern nothwendige Dicke in Bezug auf ihre Belastung und Stabilität. 120. — Folgerung in Bezug auf das Verhältniß, welches zwischen der Dicke und Höhe der isolirten Mauern zu beobachten ist. 121. . . . . 117—123

Erster Artikel. — Von der Stabilität der Mauern. 123. — Unterscheidung von drei Graden der Stabilität bei der Construction der Gebäude. 123. — Grad der Stabilität isolirter Mauern im Verhältniß zu ihrer Höhe. 123. — Die Stabilität der Mauern wird größer durch die Art ihrer Verbindung in dem Grundriß der Gebäude. 123. — Erklärung bezüglich dieses Satzes. 124. — Einfache und leichte Methode zur Bestimmung der Mauerdicke abhängig von der Lage der Mauer in dem Grundriß der Gebäude. 124. — Algebraische Methode, einen gegebenen Flächeninhalt durch ein regelmäßiges Polygon zu umschließen. 126. — Geometrisches Verfahren für dieselbe Aufgabe. 127. — Vortheile der Kreisform vor der geraden Linie in Bezug auf Stabilität der Mauern. 128. . . . . 123—130

Zweiter Artikel. — Von der Dicke der Mauern bei Gebäuden, die nicht überwölbt sind. 130. — Mitwirkung der Dächer und Holzdecken zur Vermehrung der Stabilität der Mauern an den Gebäuden. 130. — Beispiel eines antiken Monuments zu Rom, dessen Mauern und Stützpunkte sich ohne das

Seite.

Zimmerwerk des Daches und der Decke nicht erhalten könnten. 130. — Bestätigung dieser theoretischen Betrachtung durch die Feuersbrunst, welches unterdessen dieses Monument betroffen hat. 131. — Es ist eher die Stabilität als die Tragfähigkeit, wodurch die Dauerhaftigkeit der Gebäude bedingt wird. 132. — Ergebniß der Untersuchung der Mauerdicke an beinahe 280 Gebäuden jeder Art, sowohl alten als neuen. 132. — Sichere und leichte Vorschrift zur Bestimmung der Mauerdicke an nicht gewölbten Gebäuden. 133. — Anwendungen bei Gebäuden, die nur durch ein einfaches Dach gedeckt sind. 133. — Anwendungen bei Gebäuden von mehreren durch Holzdecken gebildeten Stockwerken. 136. . . . . 130—140

Dritter Artikel. — Von der Stabilität der Widerlager oder Stützpunkte. 140. — Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes eines Widerlagers in Bezug auf eine horizontal oder schief zum Umstürzen desselben wirkende Kraft. 140. — Herleitung der Formel $x = \sqrt{2p}$. 142. — Die Höhe des Widerlagers hat auf die Bestimmung von x keinen Einfluß. 143. — Beispiel. 143. — Herleitung der Formel $x = -\frac{n}{d} + \sqrt{\left(2p + \frac{nn}{dd}\right)}$. 144. — Anwendung. 145. . . . . 140—145

Zweites Kapitel.

Von den Regeln in Bezug auf das Tragvermögen der Mauern und Stützpunkte.

Die Steine wurden von den Alten zum Bauen ohne Rücksicht auf ihre Stärke verwendet. 146. — Je weiter man zu dem Alterthum hinaufsteigt, desto massiver findet man die Monumente. 146. — Verhältniß der Säulen bei den Aegyptern, Griechen und Römern. 147. — Ungewöhnliche Kühnheit der Constructionen beim Verfall des römischen Reiches. 147. — Die Kühnheit dieser Constructionen ist bei einigen Gebäuden des 16. Jahrhunderts noch übertroffen. 147. — Abmessungen der Pfeiler an den ersten Domen, eher nach der gegebenen Disposition und Decoration bestimmt als nach der Kenntniß der zu tragenden Belastung. 147. — Vergleichung der Belastung auf jeden Meter der Grundfläche bei den Pfeilern des Doms der Peterskirche zu Rom, der Paulskirche zu London, der Invaliden, der Genovevenkirche, bei den Säulen der Basilika des heiligen Pauls vor den Mauern zu Rom, bei einem der Pfeiler für den Thurm von St. Mery zu Paris. 148. — Ursprung der Versuche, welche zur Kenntniß der Steinstärke ausgeführt wurden. 149. — Be-

Seite.

schreibung der Maschine des Herrn Gauthey. 149. — Beschreibung derjenigen des Verfassers. 151. — Analytische Darlegung des Resultats der von dem Verfasser angestellten Versuche. 153. 146—169

Drittes Kapitel.

Verhältniss der Mauergrundflächen zu dem ganzen Flächenraum eines Gebäudes und Vergleichung der Constructionen bei verschiedenen Gebäuden.

Verhältniß zwischen der Grundfläche der Mauern und Stützpunkte und zwischen der ganzen Flächenausdehnung bei der Basilika des heiligen Paulus vor den Mauern. 170. — Dasselbe bei der Kirche der heiligen Sabina. 171. — Bei der Kirche des heiligen Petrus in Vinculis. 171. — Bei der Kirche des St. Philipp von Neri. 171. — Bei dem großen Tempel von Pestum. 172. — Bei dem Tempel der Juno Lucina. 172. — Bei dem Tempel der Concordia. 172. — Bei dem Grabmal des Osymandias. 172. — Bei der Rotunde des heiligen Stephanus. 172. — Bei dem größten Theil der Paläste zu Paris, aufgeführt zu Ende der Regierung Ludwigs XIV. und zu Anfang der Regierung Ludwigs XV. 173. — Bei den Gebäuden des Palladio. 173. — Bei den Gebäuden in Belgien. 173. — Bei den Gebäuden in Paris, seit der Regierung Ludwigs XV. aufgeführt. 174. — Bei den vorzüglichsten Palästen zu Rom. 174. — Bei den Palästen des Louvre, der Tuillerien, des Luxembourg, zu Versaille. 174. — Bei den Ruinen der gewölbten und nicht gewölbten Gebäude der Stadt Adrienne. 174. — Bei dem Pantheon des Agrippa. 174. — Bei dem Dom der Invaliden. 175. — Bei den Gebäuden der Getreidehalle. 175. — Bei dem Tempel der Minerva Medica. 175. — Bei der Kirche des St. Vital zu Ravenna. 176. — Bei der Sophienkirche zu Konstantinopel. 177. — Bei dem Friedenstempel. 177. — Bei den Thermen des Diocletian. 177. — Bei der Basilika des heiligen Petrus. 180. — Bei der Kirche Santa-Maria de Fiori. 182. — Bei der St. Paulskirche zu London. 183. — Bei der Kirche des heiligen Ambrosius zu Mailand und der Kirche Notre-Dame zu Paris. 184. — Bei der Kirche der heiligen Genoveva. 185. — Bei der Kirche des heiligen Sulpicius. 185. — Bei der Kirche des heiligen Dominikus des Großen zu Palermo. 186. — Bei der Kirche des heiligen Joseph. 186. — Allgemeine Folgerungen aus der Zusammenstellung dieser verschiedenen Beispiele. 186. . 170—189

Fünfte Abtheilung.

Bekleidungsmauern.

Erstes Kapitel.

Von dem Drucke des Erdreiches.

Seite.

Die natürlichen Böschungen verschiedener Erdarten. 190 — Belidor's Methode zur Bestimmung des Erddruckes. 190. — Formation der Gleichung $x^2 + \frac{2pc}{ad}x = \frac{2p\,(bf - bc)}{ad}$, woraus sich der Werth von x für das Gleichgewicht gegen den Erddruck ergiebt. 192. — Veränderung dieser Gleichung in die allgemeine Formel $x = -n + \sqrt{(2m + n^2)}$, woraus der Werth von x für alle Fälle gefunden wird. 192. — Anwendungen dieser Formel auf das Ergebniß von Versuchen, welche in einem für diesen Zweck vorbereiteten Apparat mit gepulvertem Sandstein angestellt worden sind. 193. — Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung. 194. — Herleitung der Formel $x = d \cdot \frac{-3 + \sqrt{41}}{16}$ $= 0{,}213 \cdot d$ für die Böschung von 45 Grad. 197. — Herleitung der Formel $x = -a + \sqrt{\left(\frac{2R}{d} + \frac{a^2}{3}\right)}$ bezüglich auf einen besonders eingerichteten Widerstand, der mit dem Erddruck im Gleichgewicht steht. 198. — Herleitung der Formel $x = -e + \sqrt{\left(\frac{2R}{de} - \frac{de}{2}\right)}$ in Bezug auf eine andere Einrichtung des Widerstandes gegen den Erddruck. 203. . . . . 190—207

Zweites Kapitel.

Von den Profilen der Bekleidungsmauern.

Bekleidungsmäuern von gleicher Höhe und gleicher Widerstandsfähigkeit auf vier verschiedene Arten gebildet. 208. — Dicke der senkrechten Mauer. 208. — Abmessungen des Profils der nach außen geböschten Mauer. 208. — Abmessungen und Einrichtung der Mauer mit Strebepfeilern nach innen. 208. — Abmessungen und Einrichtung der Mauer mit Strebepfeilern äußerlich. 208. — Vergleichung der Vor- und Nachtheile von jedem der vorhergegangenen Profile. 209. — Besondere Bemerkungen über die Gestalt und Anlegung der Strebepfeiler. 210. — Strebepfeiler mit Rechtecksgrundfläche. 210. —

Seite.

Strebepfeiler mit einer Trapezgrundfläche, die an der Mauer breiter ist als hinten, nach Vauban. 210. — Strebepfeiler ebenfalls mit Trapezgrundfläche, aber in umgekehrter Lage, nach Belidor. 210. — Die von den Römern angewendeten Mittel zur Verstärkung der Bekleidungsmauern. 210. — Uebertreibung des von Vitruv vorgeschlagenen Mittels für denselben Zweck. 211. — Betrachtungen über die Anschwellung, welche durch Feuchtigkeit bei der Erde verursacht wird, und über das Eindringen des Wassers in die Bekleidungsmauern. 211. — Wirkung beim Abfeuern der Artillerie auf die Bekleidungsmauern. 212. . . . . 208—214

I. Tabelle für die obere und untere Dicke der Bekleidungsmauern und ihrer Strebepfeiler, welche man 18 Fuß von Mitte zu Mitte entfernt annimmt, und ihre Widerstandsfähigkeit im Vergleich mit dem Erddruck — nach den Angaben von Vauban und Belidor . 214—218

II. Tabelle, welche die verschiedene Dicke enthält, die man oben und unten der geböschten Futtermauer eines Walles mit Brustwehr geben muß, — so wie auch die Abmessungen der zugehörigen Strebepfeiler, welche von Mitte zu Mitte 18 Fuß Entfernung haben, — so daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern das Doppelte des Erddrucks ist (die Anlage der Böschung gleich $^1/_5$). 219

III. Tabelle, welche dasselbe enthält (die Anl. d. Bösch. gleich $^1/_6$). 220

IV. Tabelle, dasselbe (die Anlage der Böschung gleich $^1/_8$). . . 221

V. Tabelle, welche die verschiedene Dicke enthält, die man oben und unten der geböschten Futtermauer eines Walles mit Brustwehr geben muß, wobei keine Strebepfeiler sind, — so daß die Widerstandsfähigkeit der Mauer das Doppelte des Erddrucks ist. 222

VI. Tabelle für die obere und untere Dicke der geböschten und mit Strebepfeilern versehenen Futtermauern von Erdwällen ohne Brustwehren, so daß die Widerstandsfähigkeit dieser Mauern das Doppelte des Erddrucks ist (die Strebepfeiler von Mitte zu Mitte entfernt gleich 18 Fuß (die Anlage der Böschung gleich $^1/_5$). . . 223

VII. Tabelle für dasselbe (die Anlage der Böschung gleich $^1/_6$. . 224

VIII. Tabelle für dasselbe (die Anlage der Böschung gleich $^1/_8$). . 225

XI. Tabelle der verschiedenen Dicke, welche man bei Erdwällen ohne Brustwehr den geböschten Mauern ohne Strebepfeiler oben und unten geben muß, damit die Widerstandsfähigkeit gleich dem Doppelten des Erddrucks ist. 225

Bemerkungen über die Aufstellung und den Gebrauch der vorstehenden Tabellen. . . . . 227—232

Eine leichte Art, die Dicke der Futtermauern zu finden. 233. — Ein geometrisches Verfahren für die einer senkrechten Mauer zu gebende Dicke, damit jene dem Erddruck einen hinreichenden Widerstand leistet. 233. — Anderes Verfahren, um das-

Seite.

selbe Resultat durch Rechnung zu erhalten. 233. — Anwendung auf eine senkrechte Mauer. 233. — Anwendung auf eine Mauer, die einerseits senkrecht und andererseits geböscht ist. 234. — Anwendung auf eine senkrechte Mauer mit Strebepfeilern. 234. — Anwendung auf Mauern mit Böschungen von $^1/_5$, $^1/_6$ und $^1/_8$ zur Anlage und mit Strebepfeilern. 234. . . . . 233—236

Sechste Abtheilung.

Theorie der Gewölbe.

Die Gewölbe unter drei verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet. 237. — Erklärung der Theorie der Gewölbe. 237. — Die Aufgabe über das Gleichgewicht der Gewölbe wird sehr spät den Gesetzen der Mechanik unterworfen. 237. — Die Architekten des Alterthums und die der Epoche der Wiedergeburt angehörigen wurden durch eine natürliche Mechanik geleitet. 238. — Die merkwürdigsten Werke der einen und andern Epoche erheben weit mehr die Kunst als die Wissenschaft. 238. — Stillschweigen Vitruv's hinsichtlich der Anwendung der Mechanik in der Baukunst. 238. — Analyse der verschiedenen Werke, welche von 1795 bis zu unseren Tagen über die Theorie der Gewölbe bekannt wurden. 238. . . 237—240

Erstes Kapitel.

Vom Drucke der einfachen Gewölbe.

Erster Artikel. — Untersuchungen über die Reibung in Beziehung auf der Theorie der Gewölbe. 241. — Versuche über die Reibung. 241. — Auf diese Versuche begründete Hypothese in Bezug auf die Theorie der Gewölbe. 244. — Anwendung dieser Hypothese auf ein Gewölbemodell im vollen Zirkel. 245. — Bestimmung der Formel $x = \sqrt{\left(\frac{2p - 2bc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b}{a}$. 248. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 248. — Zweite Anwendung, wobei die Reibung auf eine andere Art angegeben und die Richtigkeit erwähnter Hypothese durch die für denselben Fall von Bossut vorgeschlagene Methode bewiesen wird. 249. — Dritte Anwendung auf das Modell eines flachen oder scheitrechten Gewölbes. 251. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 252. . . . . 2—25

Zweiter Artikel. — Neue Bemerkungen über die Art, wie die Gewölbsteine wirken, um sich zu unterstützen.

Seite.

— Gewölbe, betrachtet als aus einer Menge Gewölbsteine zusammengesetzt, die ohne Reibung wirken und sich blos durch ihre gegenseitigen Wirkuugen unterstützen; allgemeine Betrachtungen über die Construction der Gewölbe. 253. — Verfahren zur Bestimmung der Formel $x = \sqrt{\left(2p + \frac{2pd + 2ne - 2mc}{a} + \frac{b^2}{a^2}\right)} - \frac{b}{a}$, durch welche die Widerlagerdicke aller Arten gleich dicker Tonnengewölbe ausgedrückt wird. 256. . . . . 253—258

Bogen im vollen Zirkel. — Erste Anwendung auf ein Modell im vollen Bogen. 258. — Uebereinstimmung des Resultats der Theorie und des Versuchs. 260. — Andere Methode der vorhergehenden zum Beweise dienend. 260. — Zweite Anwendung auf einen in neun Gewölbsteine getheilten Bogen. 263. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 264. — Dritte Anwendung auf einen in vier Gewölbsteine getheilten gleich dicken Bogen. 264. — Vergleichung der Resultate der Theorie uud des Versuchs. 266. — Die Quadratwurzel aus dem doppelten Drucke giebt eine hinreichende Dicke für Widerlager von jeder Höhe. 267. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 267. — Geometrische Bestimmung der Widerlagerdicke für Gewölbe von beliebiger Krümmung. 267. . . . . 258—268

Ueber den vollen Bogen erhöhte Gewölbe. — Vierte Anwendung auf das Modell eines überhöhten, in vier Theile getheilten, gleich dicken elliptischen Bogens. 268. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 269. — Fünfte Anwendung auf das Modell eines überhöhten, nach der Cassinoide geformten Bogens. 269. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 270. — Sechste Anwendung auf das Modell eines überhöhten, aus zwei halben Cycloiden bestehenden Bogens. 270. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 271. — Siebente Anwendung auf einen gothischen Bogen. 272. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 273. — Achte Anwendung auf einen überhöhten, nach der Parabel gekrümmten Bogen. 273. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 274. — Neunte Anwendung auf einen überhöhten nach der Kettenlinie gekrümmten Bogen. 274. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 275. — Tabelle der Resultate der sechs letzten Anwendungen, so wie der Resultate der Versuche u. der geometrischen Methode. 275. 268—277

Gedrückte Gewölbe. — Zehnte Anwendung auf einen gedrückten elliptischen Bogen. 277. — Vergleichung der Resultate

Seite.

der Theorie und des Versuchs. 278. — Eilfte Anwendung auf einen gedrückten nach einer halben Cassinoide geformten Bogen. 278. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 279. — Zwölfte Anwendung auf einen gedrückten nach einer Cycloide gekrümmten Bogen. 279. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 280. — Bemerkungen über die Eigenschaften der Curven, nach welchen in den drei letzten Anwendungen die Modelle gekrümmt waren. 280. . . . . 277—281

Hängende Bogen. — Dreizehnte Anwendung auf das Modell eines hängenden Bogens. 282. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 284. — Vierzehnte Anwendung auf das Modell, dessen Krümmung ebenfalls nach einem hängenden Bogen geformt ist. 284. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 285. — Bemerkungen in Bezug auf hängende Bogen, die als Strebepfeiler an Mauern oder Gewölben dienen. 286. . . . . 282—286

Auf verschiedene Weise abgeglichene Bogen. Fünfzehnte Anwendung auf das Modell eines Bogens im vollen Zirkel, der bis zum Durchschnitt des Rückens mit der fortgesetzten inneren Widerlagerfläche einerlei Dicke hat. 286. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 287. — Sechszehnte Anwendung auf das Modell eines in gerader Linie abgeglichenen Bogens. 287. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 288. — Auflösung durch die Methode der Schwerpunkte, der vorhergehenden zum Beweise dienend. 289. — Siebenzehnte Anwendung auf ein Gewölbe, auf dem sich eine Etage mit einem Dach von Zimmerwerk befindet. 290. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 292. — Achtzehnte Anwendung auf das Modell eines Bogens, der aus 11 Gewölbsteinen besteht, von denen 10 mit Haken versehen sind. 292. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 293. — Auflösung durch die Methode der Schwerpunkte. 293. — Neunzehnte Anwendung auf das Modell eines Gewölbes im vollen Zirkel von ungleicher Dicke. 295. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 296. . . . . 286—297

Dritter Artikel. — Die für einfache Bogen gefundenen Auflösungen auf eigentliche Gewölbe angewendet. — Die für das Profil eines Gewölbes gefundene Widerlagerdicke paßt für jede Länge dieses Gewölbes. 297. — Umstände, unter welchen diese Dicke modificirt werden kann. 297. — Regel, nach welcher diese Reduction vorzunehmen ist. 297. — Die Widerlager werden durch Giebelmauern verstärkt. 297. — Bemer-

Seite.

kungen über hohle Räume in den Widerlagern und Giebelmauern. 298. — Mittel zur Wegschaffung des Drucks der Gewölbe bei zu schwachen Stützmauern. 298. — Vortheilhafteste Lage horizontaler Ketten oder Zugbänder. 298. . . . . 297—298

Vergleichung der Methode des Verfassers mit mehreren andern Methoden und Tabelle über die Dicke, welche den Widerlagern der Modelle von verschieden gestalteten Tonnengewölben nach den Methoden von Pater Deran, Gauthier, nach der Belidor'schen Formel, und der vom Verfasser vorgeschlagenen analytischen und geometrischen Methode zu geben ist, nebst der durch Versuche mit denselben Modellen erhaltenen Dicke. . . . . 298—301

Zweites Kapitel.

Vom Drucke der zusammengesetzten Gewölbe.

Irrthum Frezier's hinsichtlich des Drucks der Kreuzgewölbe. 302. — Zwanzigste Anwendung auf das Modell eines Kreuzgewölbes. 302. — Auflösung durch die Formel

$$\sqrt[3]{\left(\frac{g}{2}+\sqrt{\left(\frac{g^2}{4}+\frac{f^3}{27}\right)}\right)}+\sqrt[3]{\left(\frac{g}{2}-\sqrt{\left(\frac{g^2}{4}+\frac{f^3}{27}\right)}\right)}.$$ 306.

— Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 306. — Auflösung durch die Methode der Schwerpunkte. 307. — Mittel, die hier nicht anwendbare geometrische Methode zu ersetzen. 308. — Modifikationen, welche von Oeffnungen oder Kappen herrühren. 308. — Die Pfeiler haben mit der Grundfläche des Gewölbes einerlei Gestalt. 308. Modifikationen bei Kreuzgewölben, die aus mehreren Feldern zusammengesetzt sind. 308. — Beispiel der Anwendung der Theorie auf ein ganzes Gebäude. 309. . . . . 302—311

Von den antiken Kreuzgewölben. 311. — Anwendung der Theorie des Verfassers auf die Gewölbe des Friedenstempels. 311. — Bemerkungen über die Bauart dieser Mauern. 313. . . . 311—313

Bemerkungen über die gothischen Kreuzgewölbe. Vorzüge der gothischen Bogen zu Kreuzgewölben. 313. — Maßverhältnisse der Widerlager und Pfeiler in den merkwürdigsten gothischen Gebäuden. 314. — Eigne Construction der gothischen Kreuzgewölbe. 314. — Die vielen Strebebogen an den meisten gothischen Kirchen sind überflüssig; Beispiele für diese Behauptung. 315. — Arten, auf welche die Gewölbe in den meisten neueren Kirchen einander durchschneiden; Vorzüge und Nachtheile derselben. 315. — Die Einrichtung der alten Römer verdient den Vorzug. 316. . . . . 313—316

Seite.

Klostergewölbe. Ein und zwanzigste Anwendung auf das Modell eines Kreuzgewölbes. 417. — Bestimmung der Formel $x = \sqrt{\left(\frac{2p}{f} + \frac{2pd - 2mc}{af} + \frac{b^2}{a^2f^2}\right)} + \frac{b}{af}$. 318. — Vergleichung der Resultate der Theorie und des Versuchs. 319. — Für die Methode der Schwerpunkte verwandelt sich die Formel in $x = \sqrt{\left(\frac{2p}{f} + \frac{2bc}{af} + \frac{b^2}{a^2f^2}\right)} + \frac{b}{af}$. 320. — Vergleichung der Resultate beider Methoden. 321. — Bemerkung über die Stelle des größten Drucks in Klostergewölben. 321. — Modifikation der Formel in Bezug auf diese Bemerkung. 321. — Die Vorzüge der Klostergewölbe vermindern sich desto mehr, je länger die Gewölbe im Verhältniß zur Breite werden. 322. — Oeffnungen für Thüren und Fenster müssen bei Klostergewölben in der Mitte der Stützmauern vermieden werden. 322. — Krümmung eines Klostergewölbes nach einem Kreisabschnitt. 322. . . . . 317—322

Sphärische Gewölbe. — Zwei und zwanzigste Anwendung auf das Modell eines sphärischen Gewölbes. 322. — Bestimmung der Formel $x = \sqrt{\left(\frac{p}{f} + \frac{pd - mc}{af} + h^2\right)} - h$. 325. — Auflösung durch die Methode der Schwerpunkte 325. — Vergleichung der Resultate beider Methoden. 327 — Resultat der Anwendungen auf die vier zuletzt betrachteten Modelle. 327. — Der Druck ist dem Unterschiede der horizoutalen Wirkungen derjenigen Gewölbetheile gleich, welche nach entgegengesetzten Richtungen wirken. 328. — Beweis für das Klostergewölbe. 328. — Desgleichen für das sphärische. 329. — Anwendung, welche der Verfasser im Jahre 1796 auf die Gewölbe und Strebebogen der Genovevenkirche gemacht hat. 330. . . . . 322—335

Drittes Kapitel.

Von der Kraft, mit welcher Steine oder Backsteine durch Mörtel oder Gyps verbunden werden.

Diese Kraft steht bei gleichem Volumen der Steine im Verhältniß der Fugenflächen. Verhältniß dieser Kraft in Bezug auf die Entwickelung der Fugenflächen. 336. — Versuche, auf welche sich die Berechnung der Bindekraft des Mörtels und Gypses gründet. 337. — Anwendung. 340. — Schluß der Theorie der Gewölbe. 342. . . . . 336—344

Tabelle der verschiedenen Dicke, welche man Tonnengewölben im vollen Zirkel und ihren Widerlagern im Verhältniß zu ihrem

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MÜNCHEN

Seite.

Durchmesser und nach der Art, wie sie abgeglichen sind, geben muß, von Viertel zu Viertelmeter von 4 bis 42 Meter, und von Fuß zu Fuß von 12 bis 130 Fuß . . . . . 345—354

Viertes Kapitel.

Von den steinernen Brücken.

Die Brückenbaukunst umfaßt eine Menge besonderer Kenntnisse. 355. — Hauptbedingungen, welche bei der Anordnung dieser Bauten zu erfüllen sind. 355. — Zustand dieses Theils der Architektur vor dem 12. Jahrhundert. 357. — Fortschritte desselben in Frankreich im letzten Jahrhundert. 357. . . . . 355—357

Von den Brückenbogen im vollen Zirkel. Die Bogen beinahe aller antiken Brücken haben diese Form. 357. — Beschreibung der unter Augustus erbauten Brücke zu Rimini und Meinung des Palladio über diese Brücke. 357. — Beschreibung der Engelsbrücke, ehemals Brücke des Aelius, über die Tiber zu Rom. 358. — Bemerkung über den Steinschnitt der Pfeiler. 358. . . . . 357—359

Von den korbbogenförmigen Brückenbogen. Beschreibung der Brücke zu Orleans über die Loire, bei welcher man zuerst Bogen dieser Art angewendet hat. 359. — Bemerkung über die Form des Rückens überhaupt. 359. — Vorschrift der Theorie in dieser Beziehung. 359. — Mehr oder weniger bedeutende Unfälle, welche sich bei einigen neueren Brücken ereignet haben, und welche zum Theil der Nichtbeachtung der Theorie zuzuschreiben sind. 360. — Nachtheile, welche aus dem Mangel an Stabilität bei den Bogengerüsten hervorgehen können. 360. — Thatsachen zur Unterstützung dieser Ansicht des Verfassers. 360. . . . . 359—360

Von den kreisförmigen Brückenbogen. Unterscheidung von drei verschiedenen Fällen bei Brückenbogen dieser Art. 361. — Heilige Geistbrücke zu Avignon. 361. — Brücke des Fabricius, heutzutage Quatro Capi zu Rom. 362. — Brücke des Sestus, jetzt Ponte Sixto zu Rom. 362. — Antike Brücke zu Vicenza nach Palladio. 362. — Brücke zu St. Marence über die Oise. 362. — Beschreibung der Brücke vor der Militärschule über die Seine zu Paris. 362. — Von den gothischen Brückenbogen. 363. — Bemerkung über die Umstände, welche über die Wahl der Brückenbogengestalt entscheiden. 364. . . . . 361—364

Von dem Abschlagen der Brückenbogengerüste. Fehler der früher dabei befolgten Methode. 364. — Gang des Abschlagens. 364. — Methode, welche bei der Ausrüstung der Brücke zu Nemours befolgt wurde. 365. — Desgleichen bei der Brücke vor

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

Seite.

der Militärschule. 365. — Beschreibung der Anordnungen, welche bei dem successiven Abschlagen der Gerüste der Waterloo- oder Strandbrücke zu London befolgt wurden, 365. . . . . 364—366

Nachträgliche Bemerkungen zur Erklärung mehrerer Tafeln.

Beschreibung verschiedener Methoden von Aelteren und Neueren zur Bewegung, Fortschaffung und Aufziehung ungewöhnlich gestalteter und großer Blöcke angewendet. 367. 367
Tafel CLXVIII 376
Tafel CLXVIII bis 382
Tafel CLXIX 384
Tafel CLXX 388
Tafel CLXXII 395
Tafel CLXXIII 398
Tafel CLXXIV 400
Tafel CLXXVI 401
Tafel CLXXXIII 403
Tafel CLXXXV 406
Tafel CLXXXVI 415
Tafel CLXXXIX 419
Tafel CLXXXXV 426
Tafel CLXXXXVI, VII, VIII 428

Berichtigung.

Seite 280, Zeile 9 von oben ſtatt 16 lies 26.

STAATSBIBLIOTHEK
BIBLIOTHEK
MÜNCHEN

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Rondelet, Jean Baptiste, / Distelbarth, C. H. / Hess, J.

Theoretisch-praktische Anleitung zur Kunst zu bauen in fünf Bänden ; mit den 210 Kupfern der Pariser Original-Ausgabe

Bd.: 4

Leipzig ; Darmstadt 1835

Res/4 A.civ. 115 w-4
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10871516-0